HOJA SEPARADORA DEJADA INTENCIONALMENTE

LE CORRESPONDE EL FOLIO

Proyecto Mina de Cobre Panamá

ANEXO XXVI

Modelo de Aguas Subterráneas FEFLOW

Enviado a:

Minera Panamá S.A.

Setiembre 2010 07-1334-0018

TABLA DE CONTENIDO

SECCIÓN **PÁGINA**

1 INTRODUCCIÓN 1

2 PLAN DE MINADO DE MAYO DE 2009 2
2.1 ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DE LA FASE DE OPERACIONES 2
2.2 ESCENARIO DE POST-CIERRE DEL PROYECTO 4

3 MODELO HIDROGEOLÓGICO 5
3.1 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL Y FUENTES DE DATOS 5
3.2 SELECCIÓN DEL CÓDIGO 7
3.3 EXTENSIÓN DEL MODELO Y MALLA DE ELEMENTOS FINITOS 7
3.4 HIDROESTRATIGRAFÍA Y PARÁMETROS DEL MODELO 8
3.5 LÍMITES DEL MODELO 12

4 CALIBRACIÓN DEL MODELO 15

5 PRONÓSTICOS DEL MODELO 22
5.1 PRONÓSTICOS PARA EL ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DEL MINADO 23
5.2 PRONÓSTICOS PARA EL ESCENARIO DE POST-CIERRE DEL PROYECTO 30
5.3 TIEMPO DE RECORRIDO ADVECTIVO 34

6 BIBLIOGRAFÍA 37

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Parámetros Iniciales y Parámetros del Modelo Calibrado 16
Tabla 4-2 Comparación de Flujos Base Anuales Promedio Estimados y Pronosticados 18
Tabla 5-1 Caudales de Flujo de Agua Subterránea Pronosticados para los Escenarios de Finalización del Minado y Post-cierre del Proyecto 23
Tabla 5-2 Flujos Base Anuales Promedio Pronosticados para los Escenarios de Finalización del Minado y Post-cierre del Proyecto 24
Tabla 5-3 Tiempos de Recorrido Pronosticados a lo Largo de las Trayectorias Desde la Instalación para el Manejo de Relaves 36

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Plan de Minado del Proyecto de Mayo de 2009 3
Figura 3-1 Ubicaciones de las Perforaciones y Mapa Geológico del Área 6
Figura 3-2 Extensión del Modelo Hidrogeológico, Vista en Planta 9
Figura 3-3 Extensión del Modelo Hidrogeológico, Vista Tridimensional 10
Figura 3-4 Malla de Elementos Finitos 11
Figura 3-5 Condiciones Límites del Modelo Previas al Desarrollo....................... 13
Figura 4-1 Cargas Hidráulicas Medidas vs. Pronosticadas – Condiciones Previas al Desarrollo 17
Figura 4-2 Cargas Hidráulicas Pronosticadas, Condiciones Previas al Desarrollo, Vista en Planta 20
Figura 4-3 Cargas Hidráulicas Pronosticadas, Condiciones Previas al Desarrollo, Vista Transversal 21
Figura 5-1 Cargas Hidráulicas Pronosticadas, Escenario de Finalización del Minado, Vista en Planta 25
Figura 5-2 Cargas Hidráulicas Pronosticadas, Escenario de Finalización del Minado, Vista Transversal 26
Figura 5-3 Filtración Pronosticada, Escenario de Finalización del Minado 27
Figura 5-4 Depresión del Nivel Freático Pronosticado, Escenario de Finalización del Minado 28
Figura 5-5 Cargas Hidráulicas Pronosticadas, Escenario de Post-cierre 31
Figura 5-6 Cargas hidráulicas Pronosticadas, Escenario de Post-cierre, Vista Transversal.. 32
Figura 5-7 Filtraciones Pronosticadas, Escenario de Post-cierre 33
Figura 5-8 Depresión del Nivel Freático Pronosticado, Post-cierre 35

1 INTRODUCCIÓN

Como parte del EsIA del Proyecto Mina de Cobre Panamá de Minera Panamá S.A. (MPSA), se llevó a cabo una evaluación hidrogeológica (Figura 1-1), cuyos principales objetivos fueron los siguientes:

- evaluar las condiciones hidrogeológicas que podrían desarrollarse en la configuración final de las minas tanto al final de las operaciones de minado como después del cierre del Proyecto;
- ofrecer pronósticos sobre los flujos de agua subterránea para diversos componentes de la mina al final del minado y en la etapa de post-cierre del Proyecto, incluyendo entradas a los tajos abiertos y filtraciones de la instalación para el manejo de relaves (IMR);
- evaluar los posibles cambios que pudieran ocurrir en el flujo base de los cuerpos de agua superficial como consecuencia de las actividades mineras; y
- evaluar los tiempos de recorrido advectivos para las trayectorias de filtración claves identificadas durante el estudio.

La evaluación utilizó los datos del área recopilados por Golder, así como también la información obtenida en los datos disponibles (Apéndices V y VI). Sobre esta base, se desarrolló una interpretación conceptual de la hidrología de línea base (Apéndices V y VI) y de las condiciones del agua subterránea (Anexo VI). La interpretación conceptual de las condiciones del área se simuló en un modelo hidrogeológico tridimensional del área de estudio, es decir, de la subcuenca, que, después de calibrarse a las condiciones previas al desarrollo del Proyecto, se utilizó para predecir las posibles condiciones futuras del agua subterránea reflejando el impacto de la actividad minera. En la Sección 2 de este apéndice, se analiza el plan minero sobre el cual se basan los pronósticos del modelo y, en las Secciones 3 y 4, se presenta, respectivamente, el desarrollo del modelo numérico y su calibración. Finalmente, en la Sección 5, se observan los pronósticos del modelo respecto a las condiciones del agua subterránea correspondiente a la configuración final de la mina y de la etapa de post-cierre.

2 PLAN DE MINADO DE MAYO DE 2009

En la Figura 2-1, se muestra el plan de minado proporcionado por MPSA para la evaluación hidrogeológica, en lo sucesivo denominado el plan de minado de mayo de 2009. Dicho plan supone el minado de cuatro tajos abiertos durante un período de 35 años, el desarrollo de la IMR y la construcción de tres depósitos de almacenamiento de roca estéril (DAREs). Para los fines de la evaluación hidrogeológica, se consideraron dos escenarios: la finalización del minado y el post-cierre del Proyecto.

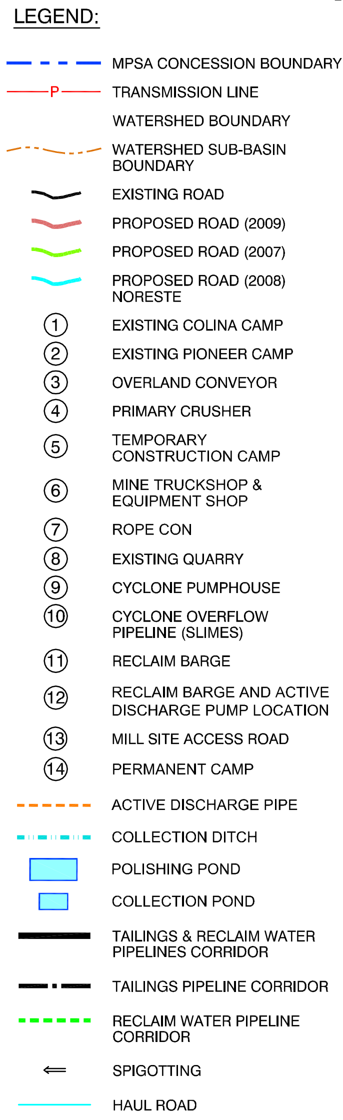
2.1 ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DE LA FASE DE OPERACIONES

Este escenario representa la configuración final de todas las instalaciones mineras al finalizar la fase de operaciones, para lo cual se formularon las siguientes hipótesis:

- Los tajos abiertos Valle Grande, Botija y Colina estarán en su configuración final y completamente drenados. La profundidad final de los tajos abiertos sería de: Valle Grande -128 metros sobre el nivel del mar (msnm), Botija -367 msnm y Colina -293 msnm. Debido a que se considera que el tajo del Medio se explotará en una etapa inicial de la fase de operaciones y posteriormente se rellenará con roca estéril, este tajo no estará sujeto a actividades de desagüe activo (bombeo) al final de la fase de operaciones dado que se permitirá que se recupere su nivel freático una vez que se culmine con su minado.
- El agua superficial se desviará hacia los tajos abiertos, para eliminar la escorrentía de agua superficial.
- Tomando como base las pruebas realizadas en la mina Antamina (Levenick 2009), se asume que la conductividad hidráulica de los relaves será de 5×10^{-6} metros por segundo (m/s). Se presupone que los relaves se mantendrán completamente saturados al final de su disposición y que el espejo de agua se encontrará a una elevación de 143 metros. La IMR no estará revestida, y la presa se construirá con materiales cuya permeabilidad será similar a la de los relaves.
- Los niveles de elevación de agua en las principales pozas colectoras de filtraciones serán de 80 m (poza sur en el lado este de la IMR), 60 m (poza norte en el lado este de la IMR) y 90 m (lado oeste de la IMR); 35 m en la poza de limpieza y aproximadamente 150 m en el reservorio de agua fresca. Estas alturas corresponden a las elevaciones aproximadas de la superficie del suelo cercanas a la instalación antes de la construcción.
- Las cunetas colectoras que se encontrarán en el perímetro de la IMR no estarán revestidas (es decir, se permitirá que el agua subterránea drene hacia los acuíferos).

12570

LEGEND:



528 000 E · 530 000 E · 532 000 E · 534 000 E · 536 000 E · 538 000 E · 540 000 E · 542 000 E · 544 000 E

984 000 N · 982 000 N · 980 000 N · 978 000 N · 976 000 N · 974 000 N

FROM PORT SITE

TRANSMISSION LINE ROUTE 1
(FROM PORT SITE)

DAM
EL 150 m (TYP)

SERVICE ROAD
(L=2 km, W=5 m)

TAILINGS PIPELINE CORRIDOR
(L=1 km, W=8 m)

TAILINGS
IMPOUNDMENT
(30 YR)

SERVICE ROAD
(L=4 km, W=5 m)

WESTERN TAILINGS
PIPELINE CORRIDOR
(L=5.5 km, W=8 m)

PETAQUILLA
SAPROLITE
DUMP
(EL 220 m)

BOTIJA
SAPROLITE
DUMP
(EL 190 m)

PIPELINES CORRIDOR
(L=10 km, W=15 m)

BOTIJA
WEST DUMP

BOTIJA
WEST DUMP
PHASE 1

MEDIO PIT

PETAQUILLA
PIT
(MIN EL -292.5 m)

BOTIJA PIT
PIT
(MIN EL -367.5 m)

VALLE GRANDE
PIT
(MIN EL -127.5 m)

LOW
GRADE
ORE
STOCKPILE
(EL 260 m)

SW DUMP
(EL 270 m)

MILL SITE

FRESHWATER RESERVOIR

TRANSMISSION LINE
ROUTE 3
(FROM LLANO SANCHEZ)

FROM COCLECITO

PERIMETER ROAD (NOT SHOWN)

PIT	LENGTH (km)	WIDTH (m)
PETAQUILLA	8	6
VALLE GRANDE	8	6
BOTIJA	7	6

PROGRESS PRINT
FOR DISCUSSION PURPOSES ONLY
MAY 25, 2009

0 500 1000 1500 2000 2500 m

WGS84
UTM Zone 17N
CONTOUR INTERVAL 10 m

PRELIMINARY

STAMP/SEAL

PROPRIETARY INFORMATION:
THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF AMEC AMERICAS, INC. AND IS NOT TO BE LOANED OR REPRODUCED IN ANY WAY WITHOUT THE PERMISSION OF AMEC AMERICAS, INC.

APPROVED FOR CONSTRUCTION

CLIENT PROJECT MGR. · DEPARTMENT MGR. · PROJECT MGR.

PROJECT PHASE

PROJECT NO. 155529 · ACTIVITY NO. · PACKAGE CODE

SCALE 1 : 25 000

	BY	D/M/Y
DSN.	F. CHAN	05/01/09
DRN.	F. CHAN	05/01/09

amec

AREA

SUBJECT
PLAN DE MINADO DEL PROYECTO DE MAYO DE 2009 / PROJECT MINE PLAN MAY 2009

Minera Panamá

CLIENT DWG. NO.
FIGURA / FIGURE: 2-1

DRAWING NO.
A1-155529-3130-C-9002

REV.

CADD FILE ADDRESS
P:\CAD\CIV\2009 FEED\A1-155529-3130-C-9002.DWG

REV · D/M/Y · REVISION · DR · CHK · APP · APP · APP · APP · ISS · D/M/Y · APP · ISSUED FOR

REF · NUMBER · TITLE · REFERENCES

USER: CHAN, FRED K · PLOTTED: 26-May-09 7:59 AM · SAVED: 26-May-09 7:31 AM

- La escorrentía y las filtraciones que ocurran dentro del área ocupada por el DARE de Botija oeste, el depósito de almacenamiento suroeste de roca estéril y el DARE de la pila de almacenamiento de mineral de baja ley serán completamente recolectadas, por lo que no se recargará el agua subterránea dentro del área ocupada por estas instalaciones.

2.2 ESCENARIO DE POST-CIERRE DEL PROYECTO

Este escenario representa la configuración de las instalaciones mineras en la etapa de post-cierre, el cual es un período de tiempo importante posterior a la culminación de las actividades mineras. Para modelar este escenario, se formularon las siguientes hipótesis:

- Se permitirá que los tajos abiertos de Valle Grande, Botija y Colina se inunden completamente. Considerando el nivel de precipitaciones relativamente alto que existe en la zona, se prevé que la elevación de las pozas de agua que se formen en cada uno de los tajos será igual a la elevación más baja existente a lo largo de la cresta del tajo abierto. Las elevaciones serán: Valle Grande: 100 msnm; Botija: 87 msnm; y Colina: 83 msnm.
- Los relaves se mantendrán completamente saturados al momento del cierre, con el espejo de agua a una elevación de 143 metros. Las cunetas y los estanques colectores de filtraciones se mantendrán completamente operativo, con los mismos niveles de elevación de agua considerados en el escenario de finalización de minado.
- Los niveles de agua en el estanque de limpieza y los reservorios de agua fresca corresponden a los mismos presupuestos en el escenario de finalización de minado.
- La escorrentía y las filtraciones dentro del área ocupada por el DARE de Botija oeste, el DARE suroeste y la pila de almacenamiento de mineral de baja ley se recolectarán completamente, por lo que no se recargará el agua subterránea dentro del área ocupada por estas instalaciones.

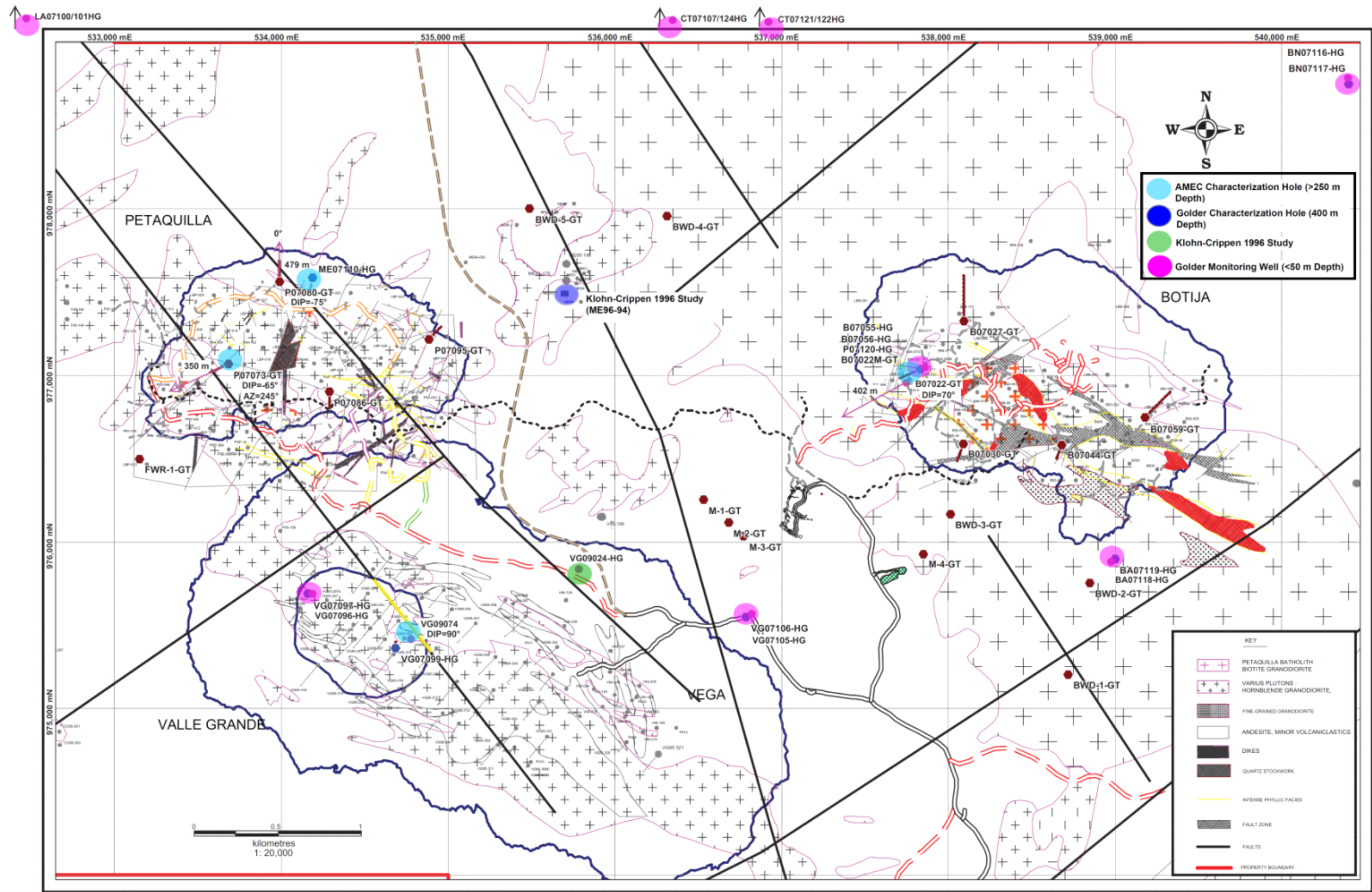
3 MODELO HIDROGEOLÓGICO

En la siguiente sección, se presenta el modelo hidrogeológico conceptual sobre el cual se basó el modelo hidrogeológico numérico, así como el análisis realizado para elegir el código numérico adecuado para la implementación de este modelo. Esta sección también presenta la extensión del modelo y la separación espacial de la malla del mismo en elementos finitos, resumiendo los parámetros iniciales de entrada y las condiciones límite.

3.1 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL Y FUENTES DE DATOS

El modelo hidrogeológico conceptual consiste en una representación gráfica y descriptiva del régimen de las aguas subterráneas, el cual organiza y simplifica las condiciones del área para su modelado. Este modelo conceptual debe tener un nivel de complejidad adecuado como para que el modelo numérico que se desarrolle a partir del modelo conceptual reproduzca o simule de forma adecuada las condiciones reales del flujo de agua subterránea para los objetivos de estudio establecidos. Como parte de los estudios de línea base realizados para el Proyecto, Golder (Anexo VI) ya había elaborado una interpretación conceptual de las condiciones del agua subterránea, la cual se basó en los datos hidrogeológicos recolectados durante el programa de campo 2008/2009, los datos recolectados anteriormente por otros consultores (Klohn-Crippen 1996) en el área del Proyecto (Figura 3-1), la información geológica recolectada en los pozos de exploración perforados a la fecha y datos de operaciones mineras similares. Las características clave del modelo conceptual se resumieron en el texto principal del presente informe.

Durante la fase de calibración, el modelo numérico utilizó estimaciones de flujos base anuales promedio en los cuerpos de agua superficial importantes ubicados cerca del área (Apéndices V y VI). En el Mapa 9 del Anexo I se muestra la ubicación de las estaciones hidrométricas para las cuales se disponía de estimaciones de flujos base. El modelo también incorporó datos topográficos obtenidos a partir de los modelos digitales de elevación (MDE) LIDAR 2007 y SRTM 2007 para el área del Proyecto compilados anteriormente.



Note: All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27

PROYECTO / PROJECT	Minera Panamá	PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ		
TÍTULO / TITLE	**UBICACIONES DE LAS PERFORACIONES Y MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA / BOREHOLE LOCATIONS AND SITE GEOLOGIC MAP**			
Golder Associates	N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018		ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
	DISEÑO/DESIGN	ST	15 Oct./Oct. 2009	**FIGURA / FIGURE: 3-1**
	SIG/GIS	ST	16 Oct./Oct. 2009	
	VERIFICACIÓN/CHECK	JW	16 Oct./Oct. 2009	
	REVISIÓN/REVIEW	JW	19 Oct./Oct. 2009	

REFERENCIA / REFERENCE

Geologic map obtained from MPSA

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Appendix XXVI\Fig3-1_Borehole_Locations_Site_Geologic.mxd

3.2 SELECCIÓN DEL CÓDIGO

El modelo numérico de agua subterránea para el área se elaboró utilizando FEFLOW, un programa de modelamiento de elementos finitos desarrollado por el WASY Institute en Alemania (Diersch 2008). Este programa tiene la capacidad de simular el flujo transitorio de agua subterránea, el transporte de sustancias disueltas y el calor en medios heterogéneos e isotrópicos tridimensionales, bajo distintos esfuerzos y límites hidrogeológicos. Aparte de estas cualidades, el programa FEFLOW puede incorporar condiciones complejas de hidroestratigrafía y límites hidrogeológicos utilizando elementos finitos, características que, en conjunto, ayudaron a elegir el código de modelamiento para el Proyecto.

A continuación se presenta un resumen general de las hipótesis y las limitaciones del modelado, incluyendo las asociadas al código FEFLOW (Versión 5.4):

- El flujo de agua subterránea en la saprolita y el lecho rocoso subyacente se simuló como un “medio poroso equivalente”. Se supone que el flujo en el material de desbroce y el lecho rocoso se rige por la ley de Darcy, que corresponde a un material laminar y constante.
- Se consideró que la separación en elementos finitos de la malla horizontal basada en la formación de nodos de aproximadamente 100 m ofrece una resolución espacial suficiente para la simulación del flujo de agua subterránea cerca de los tajos abiertos. La separación de la malla vertical tomó como base la interpretación conceptual de la hidroestratigrafía del área.
- Los valores iniciales de los parámetros de entrada del modelo se basaron en los resultados de las pruebas hidráulicas y, cuando no fue posible conseguir resultados de estas pruebas, se tomó como base los valores típicos publicados en el material bibliográfico. Los valores iniciales se ajustaron durante la calibración del modelo.
- Los cuerpos de agua superficial (ríos y quebradas) se simularon utilizando límites de carga especificadas. Se supuso que la permeabilidad de los sedimentos que podrían recubrir el lecho de estos cuerpos de agua podría ser similar a los estratos geológicos subyacentes, de modo que no se simuló ninguna restricción de flujo entre el agua superficial y las unidades hidroestratigráficas individuales.
- Se asumió que el flujo de agua subterránea que corre por debajo de la elevación de -500 m tiene una influencia muy baja en los efectos de pronósticos del modelo.

3.3 EXTENSIÓN DEL MODELO Y MALLA DE ELEMENTOS FINITOS

La extensión del modelo hidrogeológico se basó en nuestra interpretación de las condiciones del flujo del agua subterránea que se encuentran próximas a las

instalaciones mineras propuestas, habida cuenta de que los límites laterales del modelo se establecieron lo suficientemente lejos de los tajos abiertos con el fin de permitir una representación adecuada de las condiciones previas al desarrollo y las posibles trayectorias de filtración durante las operaciones. En las Figuras 3-2 y 3-3, se presenta la extensión del modelo y, en la Figura 3-4, la malla de elementos finitos.

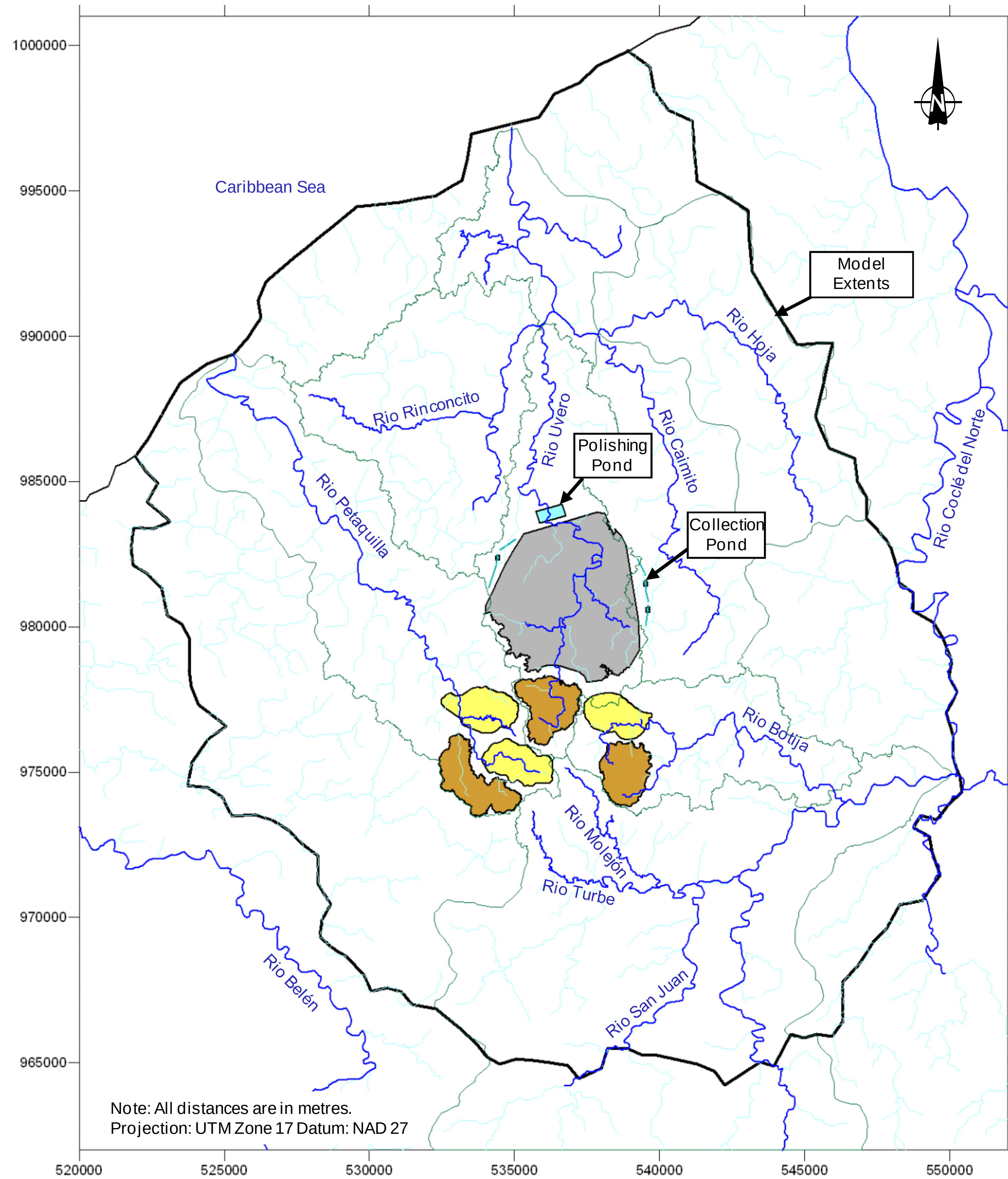
El modelo se centró en los tajos abiertos y la IMR, y se extendió aproximadamente 28 km en dirección este-oeste y 35 km en dirección norte-sur, es decir que el área plana del dominio del modelo correspondió a unos 660 km^2.

La malla constó de aproximadamente 550,000 elementos triangulares con una separación uniforme de 100 m en el área de las labores mineras, en donde se espera que se desarrollen gradientes hidráulicas pronunciadas durante las operaciones. El tamaño de los elementos se expandió aproximadamente a 500 m a lo largo del perímetro del modelo. En términos generales, se consideró que la separación de la malla tenía un nivel de detalle suficiente para la simulación de las condiciones del agua subterránea antes y durante el proceso de minado.

El modelo materia de este informe se separó verticalmente en siete capas. A la parte superior de la primera capa, se le asignó la elevación de la superficie del suelo del MDE, extendiendo el rango de la superficie del suelo desde el nivel del mar a lo largo del océano en el noreste hasta aproximadamente 500 m en las montañas al sur. El espesor de las tres capas superiores fue uniforme y se fijó en 50 m; los espesores de las capas restantes fueron variables y el fondo de la capa siete se fijó en una elevación constante de -500 m, aproximadamente a 200 m por debajo de la profundidad final de los tajos abiertos propuestos. En términos generales, el espesor del modelo permitió una representación adecuada del flujo del agua subterránea hacia los tajos abiertos.

3.4 HIDROESTRATIGRAFÍA Y PARÁMETROS DEL MODELO

Tomando como base el modelo hidrogeológico conceptual analizado en la Sección 3.1, se representó dos unidades hidroestratigráficas en el modelo. La primera de ellas, es decir la Zona 1, incluyó los estratos de saprolita, *saprock* y el lecho rocoso meteorizado superior, asumiendo un espesor de 100 m (desde el punto de vista conceptual, es un espesor equivalente a la capa superior descrita en el informe de línea base del componente hidrogeológico). A las dos capas superiores del modelo se les asignó valores iniciales de conductividad hidráulica de 5×10^{-7} m/s y una porosidad efectiva de 0.03 para representar a la Zona 1.



- Tailings Management Facility
- Open Pit / Pit Lake
- Waste Rock Storage Facility
- Collection Ditch
- Watershed/Subwatershed Boundary
- Major River
- Minor River or Creek
- Model Extent

REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO / PROJECT: Minera Panamá

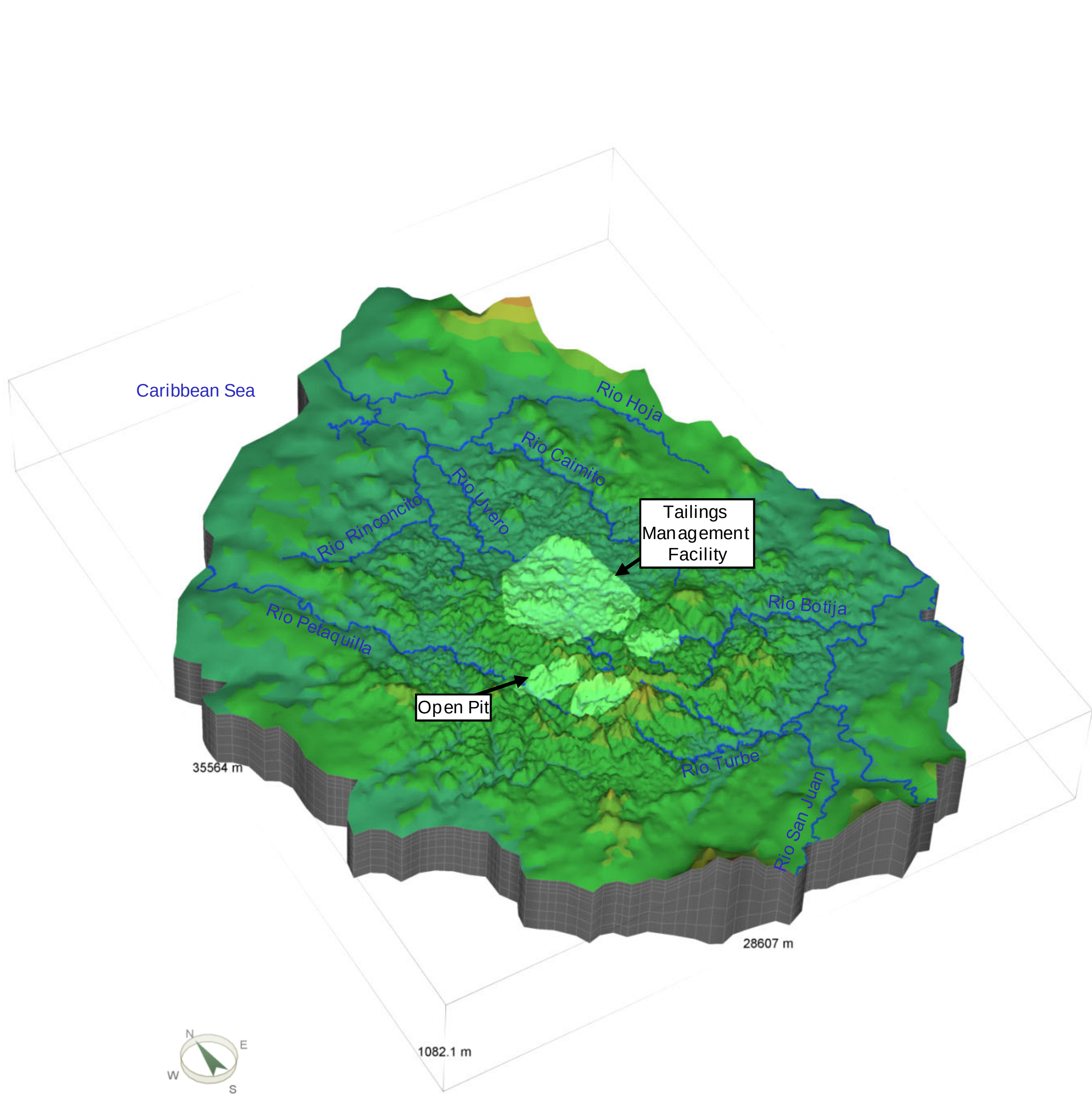
PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO / TITLE: **EXTENSIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO, VISTA EN PLANTA / EXTENT OF HYDROGEOLOGIC MODEL PLAN VIEW**

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO / DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	**FIGURA / FIGURE: 3-2**	
SIG / GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN / CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN / REVIEW	WZ	16 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig3-2_Hydrogeologic_Model_Plan_View.mxd



Elevation (masl)

- 500 -- 600
- 400 -- 500
- 300 -- 400
- 200 -- 300
- 100 -- 200
- 0 -- 100

Note: All distances are in metres.
Vertical Exaggeration 5:1
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27

REFERENCIA / REFERENCE

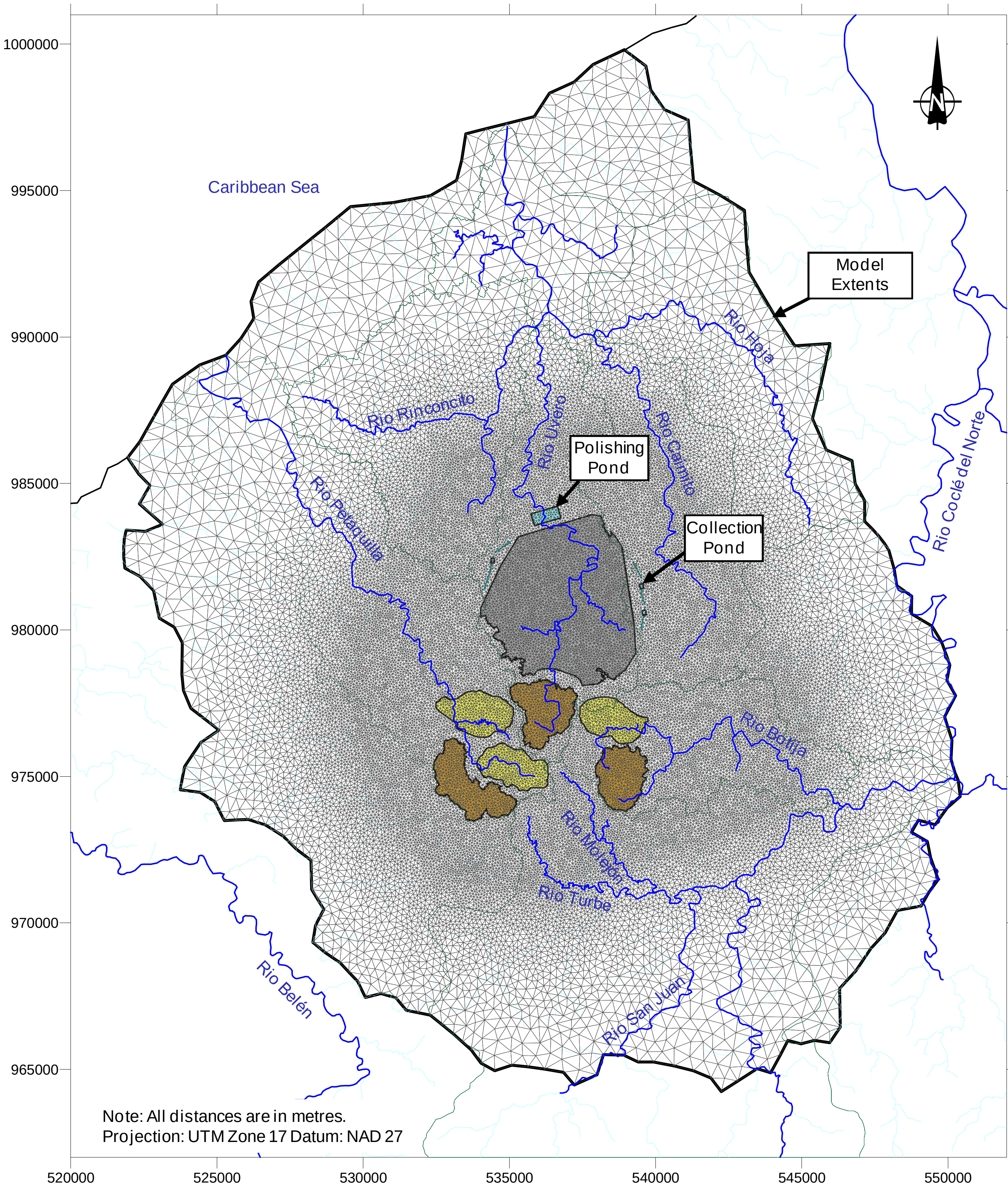
PROYECTO / PROJECT: Minera Panamá — PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO / TITLE: **EXTENSIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO, VISTA TRIDIMENSIONAL / EXTENT OF HYDROGEOLOGIC MODEL 3D VIEW**

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO / DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	**FIGURA / FIGURE: 3-3**	
SIG / GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN / CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN / REVIEW	WZ	16 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig3-3_Hydrogeologic_Model_3D_View.mxd



Tailings Management Facility
Open Pit / Pit Lake
Waste Rock Storage Facility
Collection Ditch
Watershed/Subwatershed Boundary
Major River
Minor River or Creek

REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO
PROJECT

Minera Panamá

PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ /
PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO
TITLE

MALLA DE ELEMENTOS FINITOS /
FINITE ELEMENT MESH

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO / DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	**FIGURA / FIGURE: 3-4**	
SIG / GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN / CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN / REVIEW	WZ	16 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig3-4_Finite_Element_Mesh.mxd

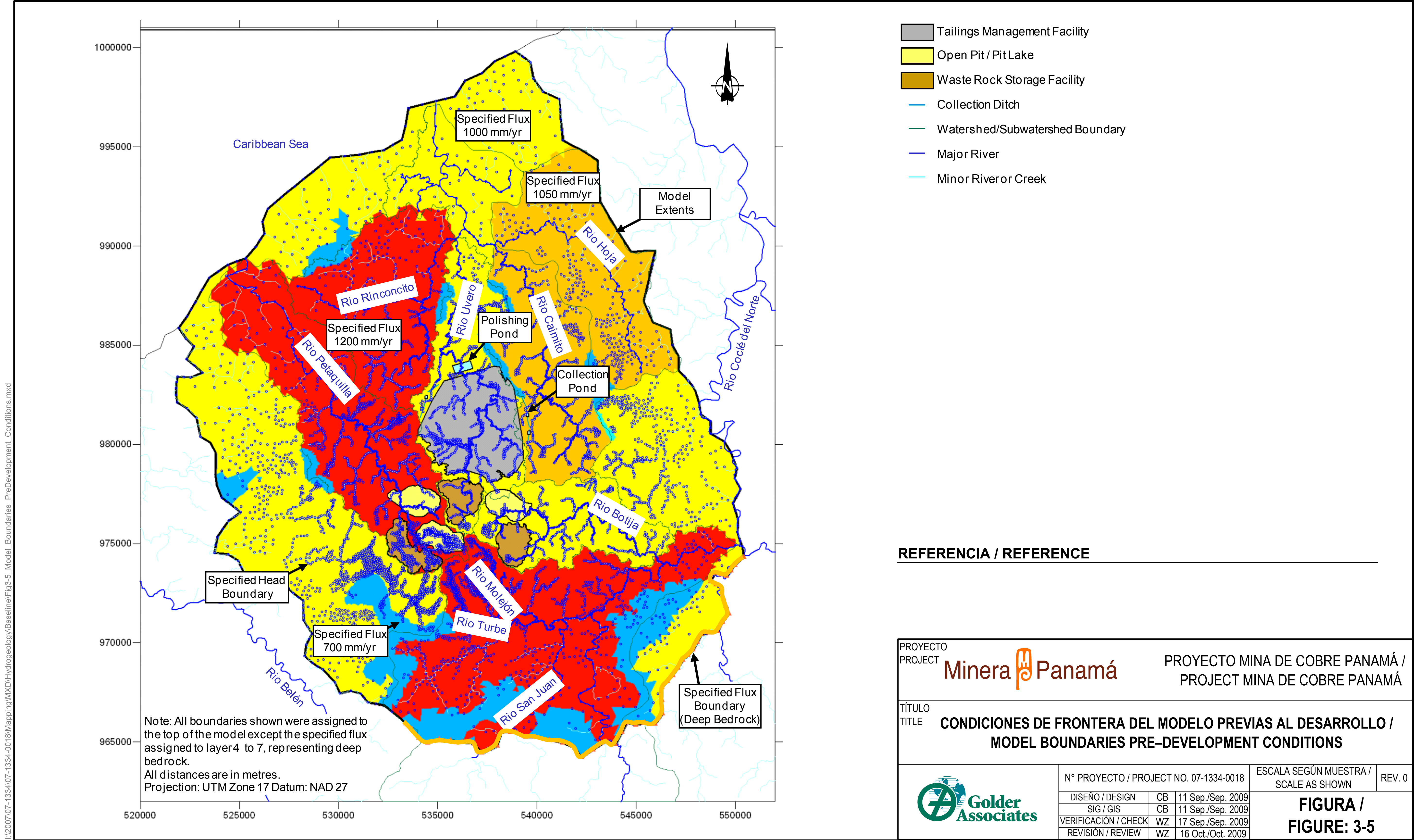
La segunda unidad hidroestratigráfica, es decir la Zona 2 (desde el punto de vista conceptual, es un espesor equivalente a la capa inferior descrita en el informe de línea base del componente hidrogeológico), representó un lecho rocoso más profundo y de menor permeabilidad por debajo de los 100 m de profundidad, el cual se incorporó al modelo con un valor inicial de conductividad hidráulica de 3×10^{-8} m/s y una porosidad efectiva de 0.01, con el fin de modelar las capas tres a siete. El valor inicial corresponde a la conductividad hidráulica efectiva general de la matriz de roca de baja permeabilidad y a las características de conducción de agua de mayor permeabilidad que están escasamente distribuidas. Los valores iniciales de conductividad hidráulica se ajustaron posteriormente durante la calibración del modelo, tal como se analiza en la Sección 4.

3.5 LÍMITES DEL MODELO

El modelo utilizó tres tipos de condiciones límites: carga especificada, flujo especificado y sin flujo. En la Figura 3-5 se ilustra la ubicación de estas condiciones límite.

Los límites de carga especificada se utilizaron para representar todos los cursos de agua que se encuentran dentro del dominio del modelo, los cuales se asignaron a lo largo de la cima del modelo tomando como base las elevaciones del agua superficial derivadas del MDE del área. Sólo se utilizó límites de carga especificada correspondientes al flujo de salida, a fin de representar los frentes de filtración en los casos en los que se interpretó que el área contenía estas características.

Con el fin de representar la recarga proveniente de las precipitaciones, se utilizó límites de flujo especificado, aplicándose en un principio una tasa uniforme de 1,000 milímetros por año (mm/año) (aproximadamente 22% de la precipitación promedio anual) a lo largo de toda la cima del modelo. Tal como se analizó en la Sección 4, la tasa de recarga se ajustó en una etapa posterior durante la calibración del modelo. Las fronteras de flujo especificado se utilizaron para simular la posible afluencia de agua subterránea profunda proveniente del sistema regional del flujo de agua subterránea, cuya presencia se infiere encontrarse entre la frontera sudeste del modelo y la divisoria continental. La magnitud de este flujo se calculó en 1×10^{-9} m/s, tomando como base la conductividad hidráulica del lecho rocoso profundo y la gradiente topográfica regional existente entre la divisoria topográfica al sudeste del dominio del modelo y el océano.



REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO / PROJECT: Minera Panamá — PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO / TITLE: **CONDICIONES DE FRONTERA DEL MODELO PREVIAS AL DESARROLLO / MODEL BOUNDARIES PRE–DEVELOPMENT CONDITIONS**

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO / DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	FIGURA / FIGURE: 3-5	
SIG / GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN / CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN / REVIEW	WZ	16 Oct./Oct. 2009		

Finalmente, las fronteras sin flujo se utilizaron para representar las divisorias inferidas del flujo de agua subterránea, para lo cual se asumió la ubicación de las mismas. Este supuesto se consideró razonable tomando en cuenta la tasa de recarga relativamente alta y el marcado relieve topográfico existente en toda el área. El modelo asignó una frontera sin flujo a lo largo de su base a una elevación de -500 m, esperándose obtener un flujo de agua subterránea insignificante que esté por debajo de la elevación de -500 m en comparación con el flujo del agua subterránea que está por encima de esta elevación. Tal cambio en el flujo del agua subterránea se debe a una posible disminución prevista en la permeabilidad, causada a su vez por la profundidad del lecho rocoso fracturado (Stober y Bucher 2007).

4 CALIBRACIÓN DEL MODELO

El modelo hidrogeológico se calibró utilizando los datos representativos del área tomando en consideración las condiciones previas al desarrollo minero. Durante el proceso de calibración, se ajustaron los valores iniciales de los parámetros de entrada del modelo dentro de rangos razonables, según los datos del área, ejecutando el modelo repetidas veces hasta lograr que los pronósticos del modelo coincidan razonablemente bien con los datos observados. La información utilizada durante el proceso de calibración consistió en:

- cargas hidráulicas medidas en 16 pozos de monitoreo durante el programa de campo hidrogeológico de línea base 2008/2009 (Anexo VI)
- estimaciones del flujo base anual promedio en 11 estaciones hidrométricas (Apéndices V y VI)

Además de los aspectos anteriores, también se evaluó cualitativamente el patrón de flujo del agua subterránea pronosticado por el modelo calibrado, con el fin de determinar su concordancia con la interpretación conceptual de las condiciones de flujo de agua subterránea de la zona.

Durante la calibración, los parámetros de entrada del modelo se ajustaron de la siguiente forma:

- En la Zona 1 del modelo, se introdujo un área de menor conductividad hidráulica correspondiente al tajo Valle Grande. La conductividad hidráulica se redujo de 5×10^{-7} m/s a 3×10^{-7} m/s, ajuste requerido para alcanzar las cargas hidráulicas relativamente altas medidas en VG07106-HG, VG07096-HG2 y VG0797-HG.
- La conductividad hidráulica del resto de la Zona 1 se incrementó a 2×10^{-6} m/s respecto al valor inicial de 5×10^{-7} m/s, ajuste requerido para ofrecer una correspondencia razonable entre los flujos de base estimados y pronosticados, sin variaciones excesivas en las elevaciones de la napa freática.
- La recarga en las cuencas de Petaquilla y San Juan y la subcuenca de Rinconcito se incrementó a 1,200 mm/año. Por su parte, la recarga en las subcuencas de Hoja y Caimito también se incrementó a 1,050 mm/año, pero en algunas áreas de mayor elevación del modelo que por lo general se encuentran a lo largo de las divisorias de la cuenca o la subcuenca, la recarga se redujo a aproximadamente 700 mm/año. Estos ajustes fueron necesarios para mejorar la correspondencia entre los flujos de base estimados y pronosticados en las estaciones hidrométricas individuales.

En la Tabla 4-1, se presenta un resumen de los parámetros finales del modelo calibrado. Los ajustes de los valores de conductividad hidráulica y las tasas de recarga

realizados durante la calibración se consideran relativamente bajos y razonables dados los resultados de las pruebas y nuestra interpretación de las condiciones hidrológicas y del agua subterránea en el área.

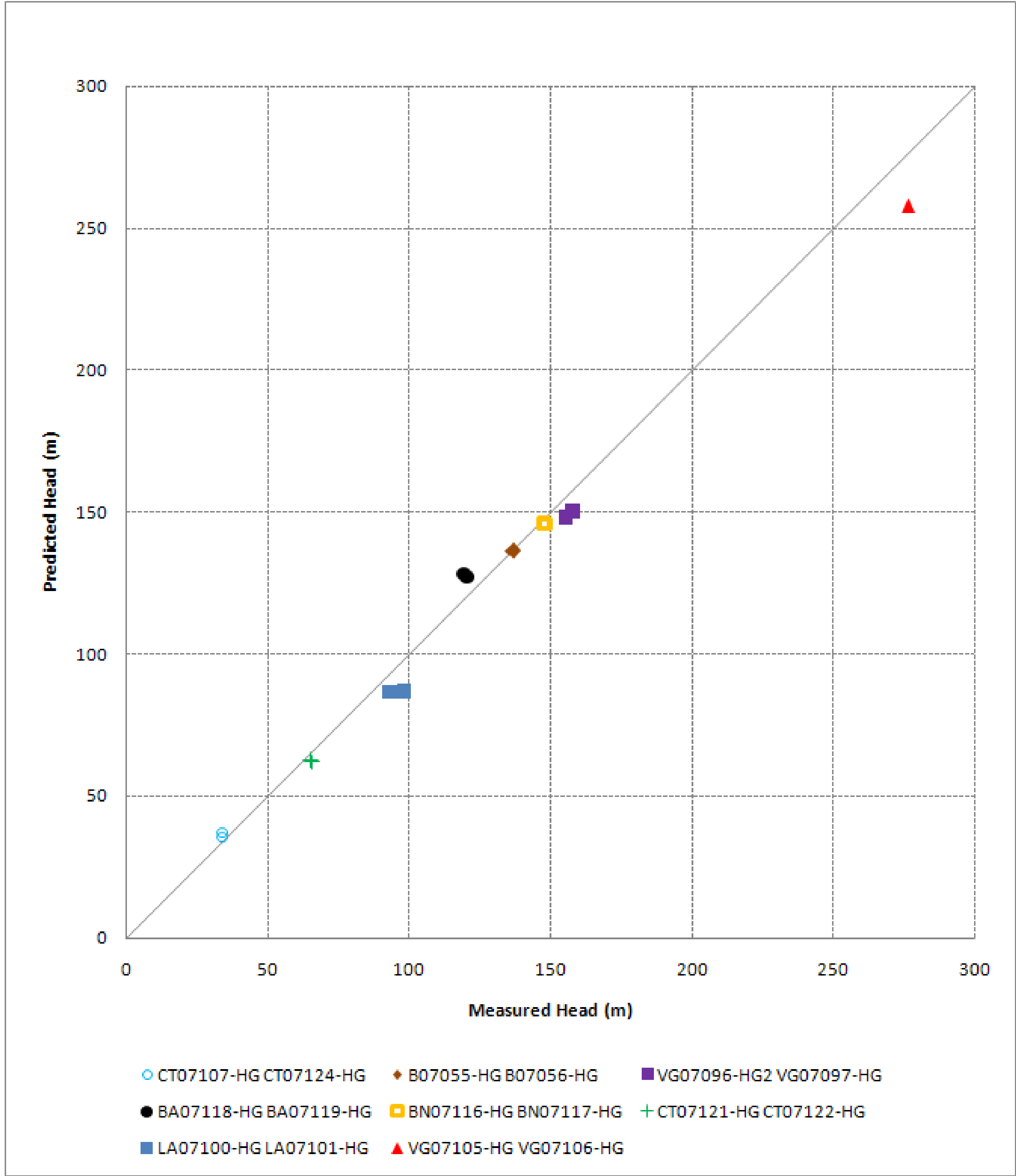
Tabla 4-1 Parámetros Iniciales y Parámetros del Modelo Calibrado

Zona	Capa	Propiedad	Unidad	Valor Inicial	Valor Calibrado
1 (capa superior) – saprolita y lecho rocoso meteorizado (<100 m por debajo de la superficie del suelo)	1 a 2	conductividad hidráulica	m/s	5×10^{-7}	3×10^{-7} a 2×10^{-6}
2 (capa inferior) – lecho rocoso profundo (> 100 m por debajo de la superficie del suelo)	3 a 7	conductividad hidráulica	m/s	3×10^{-8}	3×10^{-8}
Cuenca/Subcuenca					
Petaquilla	1	recarga	mm/año	1,000	1,200
Hoja	1	recarga	mm/año	1,000	1,050
Caimito	1	recarga	mm/año	1,000	1,050
Uvero	1	recarga	mm/año	1,000	1,000
Rinconcito	1	recarga	mm/año	1,000	1,200
Botija	1	Recarga	mm/año	1,000	1,000
San Juan	1	Recarga	mm/año	1,000	1,200

Nota: en algunas áreas de mayor elevación donde se observa pendientes pronunciadas, por lo general a lo largo de las divisorias de cuenca o subcuenca, la recarga calibrada se redujo a aproximadamente 700 mm/año, tal como se ilustra en la Figura 3-5.

m/s = metros por segundo, m = metros; mm/año = milímetros por año.

En la Figura 4-1, se presenta una comparación entre las cargas hidráulicas simuladas por el modelo y aquéllas calculadas a partir de los datos de medición en 16 ubicaciones de monitoreo, las cuales se recolectaron durante la campaña de 2008/2009 (Anexo VI). El error medio y el error medio absoluto corresponden a -2.7 m y 5.5 m, respectivamente, indicando que, en promedio, los valores pronosticados del modelo se ubicaron aproximadamente dentro de los 5.5 m de los valores medidos y que las cargas hidráulicas pronosticadas del modelo resultaron en promedio 2.7 m por debajo de los valores medidos, los cuales se consideran errores razonables, dado lo marcado del relieve topográfico del área. El error cuadrático medio (RMS por sus siglas en inglés) normalizado resultó de 3.0%, lo que indica que en términos generales, se logró una buena correspondencia entre las cargas hidráulicas simuladas y las medidas.



Well ID	Groundwater Elevation (masl)	
	Measured	Simulated
VG07105-HG	DRY	258.9
VG07106-HG	276.6	258.1
LA07100-HG	98.1	87.0
LA07101-HG	93.1	86.6
CT07121-HG	65.1	62.6
CT07122-HG	65.7	61.9
BN07116-HG	148.1	145.8
BN07117-HG	147.8	145.9
BA07118-HG	120.5	127.3
BA07119-HG	119.3	128.2
VG07096-HG2	157.9	150.4
VG07097-HG	155.2	148.2
B07055-HG	136.8	136.6
B07056-HG	135.3	136.3
CT07107-HG	34.0	37.0
CT07124-HG	34.0	35.5

Calibration Error		
Mean (m)	Mean Absolute (m)	WRMS (%)
-2.7	5.5	3.0%

REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO
PROJECT

Minera Panamá

PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ /
PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO
TITLE

CARGAS HIDRÁULICAS MEDIDAS VS. PRONOSTICADAS – CONDICIONES PREVIAS AL DESARROLLO / MEASURED VS PREDICTED HYDRAULIC HEADS – PRE–DEVELOPMENT CONDITIONS

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO / DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	FIGURA / FIGURE: 4-1	
SIG / GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN / CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN / REVIEW	WZ	16 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig4-1_Measured_vs_Predicted_Hydraulic_Heads_PreDevelopment.mxd

La Tabla 4-2 presenta una comparación entre los flujos base pronosticados por el modelo y aquéllos calculados a partir de los datos de medición en 11 ubicaciones de monitoreo hidrométrico. Los resultados del error medio y del error medio absoluto corresponden a -3 y 8% respectivamente, lo cual significa que, en términos generales, la diferencia entre el flujo base pronosticado y el estimado se considera pequeña y que, en promedio, el flujo base pronosticado se ubicó dentro del 8% del flujo base estimado. Estos resultados de calibración se consideran buenos, considerando la incertidumbre inherente en las estimaciones del flujo base.

Tabla 4-2 Comparación de Flujos Base Anuales Promedio Estimados y Pronosticados

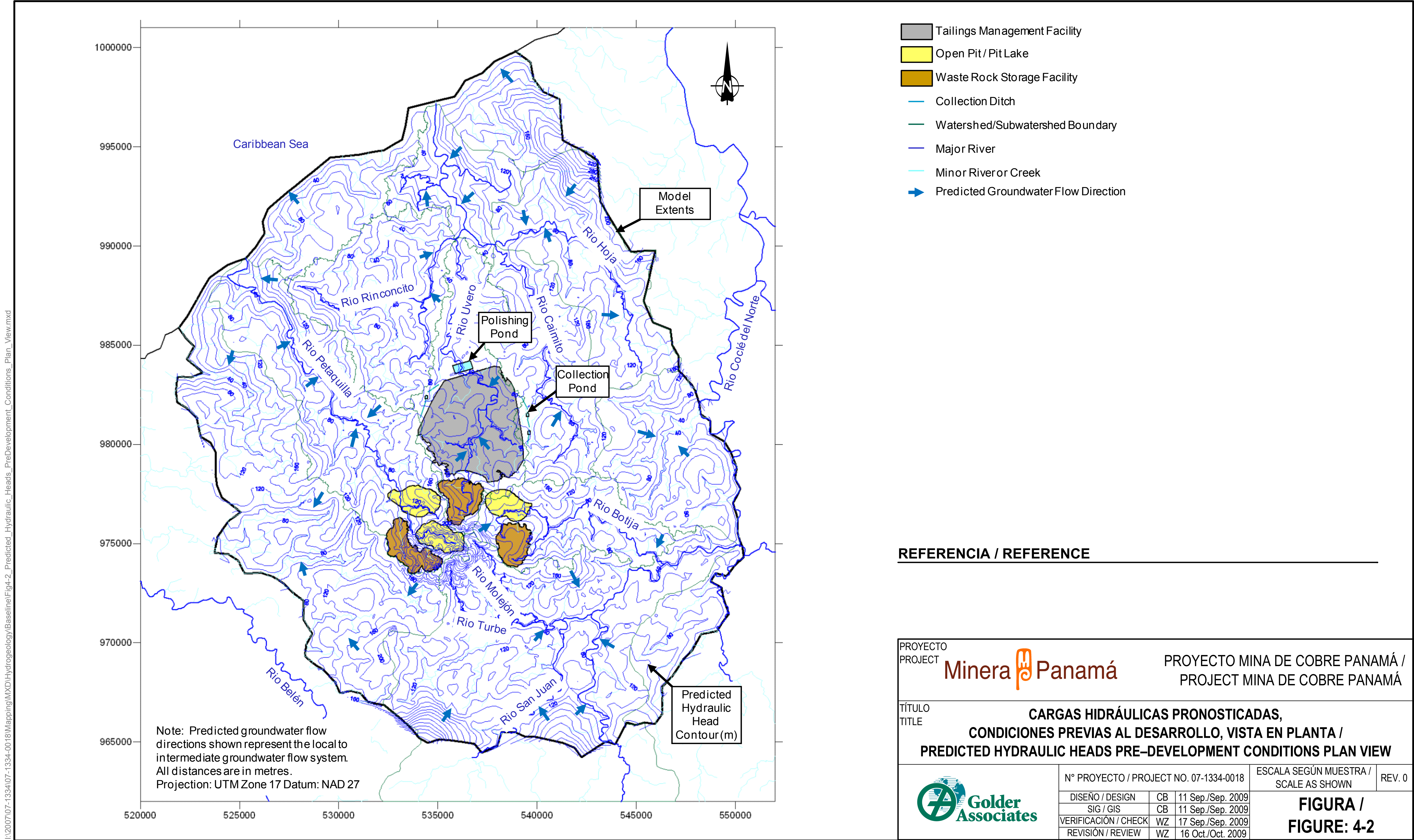
Estación	Flujo Base Estimado (m^3/d)	Flujo Base Pronosticado (m^3/d)	Diferencia Porcentual	Diferencia Porcentual Absoluta
H1	12,100	9,500	-21	21
H2	39,700	37,500	-6	6
H3	44,900	43,800	-2	2
H4	113,200	115,700	2	2
H5	43,200	46,100	7	7
HW6[a]	141,700	148,400	5	5
HW7[a]	135,600	128,900	-5	5
HW9[a]	183,200	158,000	-14	14
HW12[a]	203,000	204,800	1	1
HW13[a]	76,000	88,000	16	16
HW14/2[a]	363,300	317,400	-13	13
promedio			**-3**	**8**

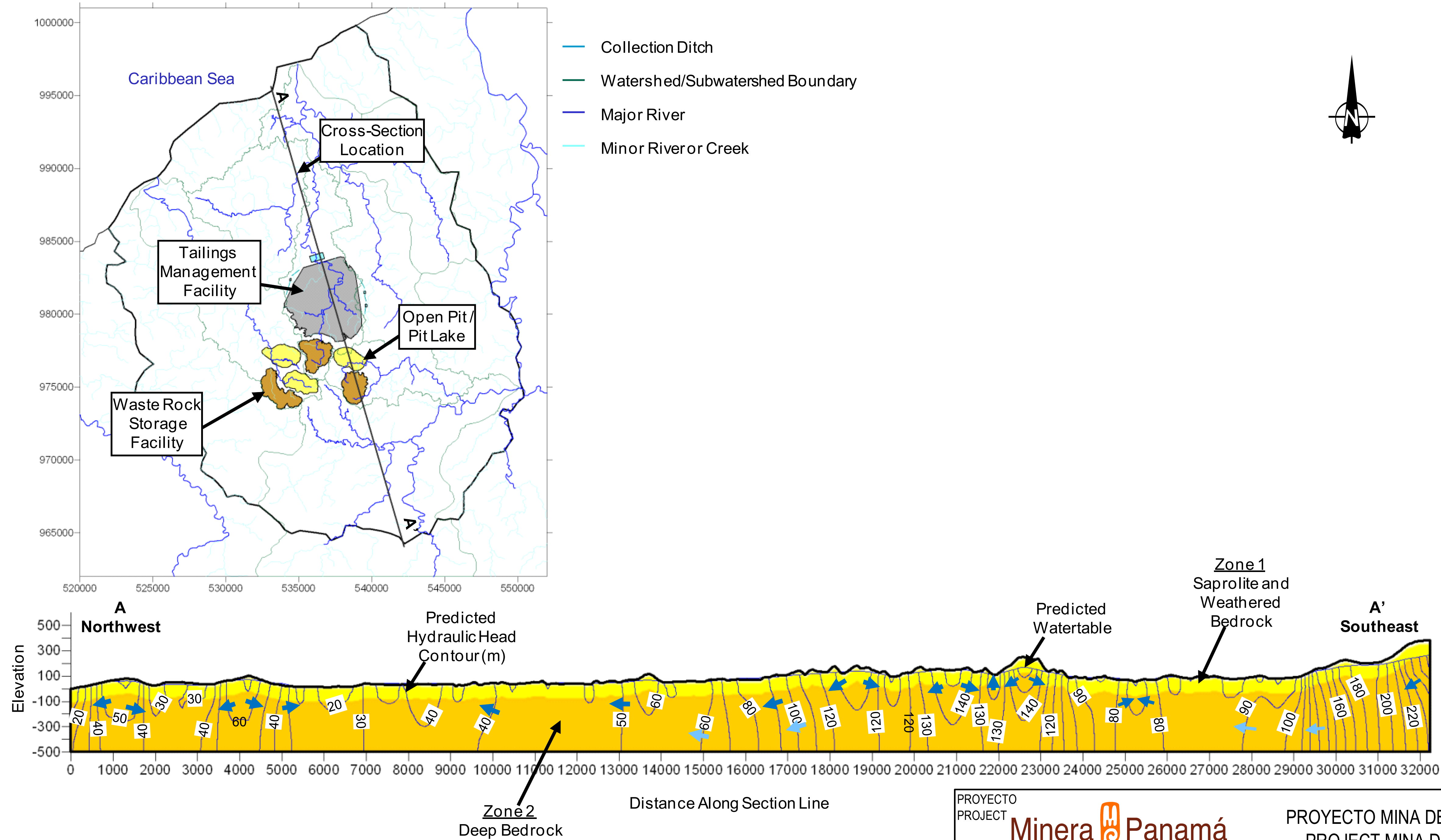
[a] calculado a partir de los caudales bajos medidos a principios de marzo de 2008 (Anexo V); todos los demás están calculados a partir de los datos de monitoreo continuos recolectados entre octubre de 2007 y diciembre de 2008 (Anexo VI).

Notas: aproximadamente 50% de la captación de la estación HW14 se encuentra dentro del dominio del modelo. Por consiguiente, la tabla anterior muestra aproximadamente la mitad del flujo base registrado para esta estación.

m^3/d = metros cúbicos por día.

En las Figuras 4-2 y 4-3, se ilustra las cargas hidráulicas pronosticadas por el modelo calibrado para las condiciones previas al desarrollo minero. En general, en la Figura 4-3, se puede observar dos regímenes de flujo distintos: 1) las flechas cercanas a la superficie reflejan mejor el sistema de flujo local a intermedio, el cual generalmente contiene rutas de flujo cortas y está más influenciado por las variaciones locales de la topografía que el sistema de flujo más profundo; y 2) las flechas en la base de la Figura 4-3 reflejan mejor el sistema de flujo regional más profundo, el cual contiene rutas de flujo relativamente largas y está más influenciado por las condiciones límite regionales (la divisoria continental y el Mar Caribe). Las direcciones de flujo mostradas en la Figura 4-2 se consideran representativas del sistema de flujo local a intermedio y, en general, se pronostica que el sistema de flujo regional será de sureste a noroeste. Los resultados indican que, según el modelo hidrogeológico conceptual, la napa freática pronosticada por lo general es un tenue reflejo de la topografía, observándose que las divisorias de agua subterránea generalmente corresponden a las divisorias de agua superficial. Debido al nivel relativamente alto de las precipitaciones que ocurren en el área y a su marcado relieve topográfico, el sistema del flujo local a intermedio se impulsa principalmente por la recarga que se produce en las áreas locales de mayor elevación de cada cuenca o subcuenca, la cual descarga a la quebrada o arroyo más cercano. Según las observaciones hidrológicas, en general se pronosticó que los arroyos obtienen agua del sistema de flujo de agua subterránea. Previo al desarrollo, se pronosticó que la mayor parte del agua subterránea cercana a la IMR descargaría en el Río Uvero, que en el área de los tajos Colina y Valle Grande, el agua subterránea descargaría al Río Petaquilla, y que en el área del tajo Botija, el agua subterránea descargaría al Río Botija. En áreas con un marcado relieve topográfico (como por ejemplo el área del tajo Valle Grande), se pronosticó que la napa freática estaría cerca de la superficie del suelo en el frente de las pendientes, donde es probable la presencia de frentes de filtración. En términos generales y considerando la buena correspondencia existente entre las observaciones de campo y los pronósticos del modelo alcanzada durante la calibración, el modelo de agua subterránea se consideró adecuado para el pronóstico de las condiciones futuras de agua subterránea como resultado de la construcción de las minas y de la IMR.


Tailings Management Facility
Open Pit / Pit Lake
Waste Rock Storage Facility
Collection Ditch
Watershed/Subwatershed Boundary
Major River
Minor River or Creek
Predicted Groundwater Flow Direction
Caribbean Sea
Model Extents
Polishing Pond
Collection Pond
Predicted Hydraulic Head Contour (m)
Rio Rinconcito
Rio Uvero
Rio Caimito
Rio Hoja
Rio Petaquilla
Rio Coclé del Norte
Rio Botija
Rio Molejón
Rio Turbe
Rio Belén
Rio San Juan
N
1000000
995000
990000
985000
980000
975000
970000
965000
520000
525000
530000
535000
540000
545000
550000
Note: Predicted groundwater flow directions shown represent the local to intermediate groundwater flow system.
All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27
REFERENCIA / REFERENCE
PROYECTO
PROJECT
Minera Panamá
PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ /
PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ
TÍTULO
TITLE
CARGAS HIDRÁULICAS PRONOSTICADAS,
CONDICIONES PREVIAS AL DESARROLLO, VISTA EN PLANTA /
PREDICTED HYDRAULIC HEADS PRE–DEVELOPMENT CONDITIONS PLAN VIEW
Golder Associates
N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018
ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN
REV. 0
DISEÑO / DESIGN CB 11 Sep./Sep. 2009
SIG / GIS CB 11 Sep./Sep. 2009
VERIFICACIÓN / CHECK WZ 17 Sep./Sep. 2009
REVISIÓN / REVIEW WZ 16 Oct./Oct. 2009
FIGURA / FIGURE: 4-2



Zone 2
Deep Bedrock

Distance Along Section Line

Predicted Groundwater Flow Direction - Local to Intermediate Flow System

Predicted Groundwater Flow Direction - Deep Flow System

Note: All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27

REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO / PROJECT	Minera Panamá — PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ
TÍTULO / TITLE	CARGAS HIDRÁULICAS PRONOSTICADAS, CONDICIONES PREVIAS AL DESARROLLO, VISTA TRANSVERSAL / PREDICTED HYDRAULIC HEADS PRE–DEVELOPMENT CONDITIONS CROSS SECTIONAL VIEW

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO/DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	FIGURA / FIGURE: 4-3	
SIG/GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN/CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN/REVIEW	WZ	11 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig5-1_Physiographic_Setting_20100804_landscape.mxd

5 PRONÓSTICOS DEL MODELO

Tal como se observa en la Sección 2, el modelo calibrado se utilizó para predecir las condiciones hidrológicas en el escenario de finalización del minado y el escenario de post-cierre de la mina. Con el objeto de simular estos dos escenarios se realizó las siguientes modificaciones al modelo calibrado:

- Todas las condiciones de límites asignadas en el modelo calibrado dentro del área ocupada por los tajos abiertos Valle Grande, Colina y Botija se reemplazaron por límites de carga especificada que permitían únicamente flujos de salida del dominio del modelo. En el escenario de finalización del minado se fijó las cargas hidráulicas asignadas para estos límites en la elevación de las paredes finales del tajo. En el escenario de post-cierre, algunos de los valores de carga asignados a límites ubicados por debajo de la elevación inferida de las lagunas de los tajos, fueron reemplazados por cargas fijadas en la elevación inferida de las lagunas de los tajos. Los límites, junto con la capacidad deformante de la malla implementada en el modelo FEFLOW, permitieron una representación precisa de los frentes de filtración que probablemente se desarrollen a lo largo de las paredes del tajo.
- En ambos escenarios, se eliminó los límites de flujo especificado asignados dentro del perímetro del DARE de Botija al oeste, el DARE al suroeste y la pila de almacenamiento de mineral de baja ley. Estos cambios representaron la supuesta recolección de todas las filtraciones provenientes de estas instalaciones durante las etapas de operación y el post-cierre.
- En ambos escenarios, todas las condiciones de frontera asignadas dentro del área ocupada por la IMR se reemplazaron por condiciones de frontera de carga especificada a las cuales se les asignó una elevación de 143 m, valor que representaba la elevación superior de la poza de relaves supuesta. La conductividad hidráulica en la capa superior del modelo dentro del área ocupada por los relaves se fijó en 5×10^{-6} m/s (la conductividad hidráulica supuesta de los relaves).
- En ambos escenarios, se utilizó límites de carga especificada para simular las zanjas y pozas colectoras de filtraciones, una poza de limpieza y un reservorio de agua fresca.

No se modificaron los otros parámetros de entrada y las condiciones límite respecto de aquéllos utilizados en el modelo calibrado.

5.1 PRONÓSTICOS PARA EL ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DEL MINADO

En las Tablas 5-1 y 5-2, se resume los pronósticos del modelo para el escenario de finalización del minado. En las Figuras 5-1 a 5-4, por su parte, se muestra los contornos de las cargas hidráulicas, las trayectorias de filtración desde la IMR y los contornos de depresión del nivel freático pronosticados por el modelo correspondiente a este escenario.

Tabla 5-1 Caudales de Flujo de Agua Subterránea Pronosticados para los Escenarios de Finalización del Minado y Post-cierre del Proyecto

Trayectoria	Escenario de Finalización del Minado Flujo [m^3/d]	Escenario de Post-cierre del Proyecto Flujo [m^3/d]
poza de limpieza	6,600	5,900
cuentas y estanques colectores al este	3,200	3,300
cuentas y estanques colectores al oeste	3,000	2,900
tajo abierto Botija / laguna del tajo	1,800	1,400
DARE al oeste	3,800	3,800
Río Uvero	7,400	8,600
Río Caimito A	1,600	1,700
Río Caimito B	7,000	7,000
Río Petaquilla	0	100
Tajo Abierto / Laguna del Tajo		
tajo Colina	11,200	7,800
tajo Valle Grande	5,000	4,100
tajo Botija	13,000	9,700

Nota: m^3/d = metros cúbicos por día; DARE = depósito de almacenamiento de roca estéril.

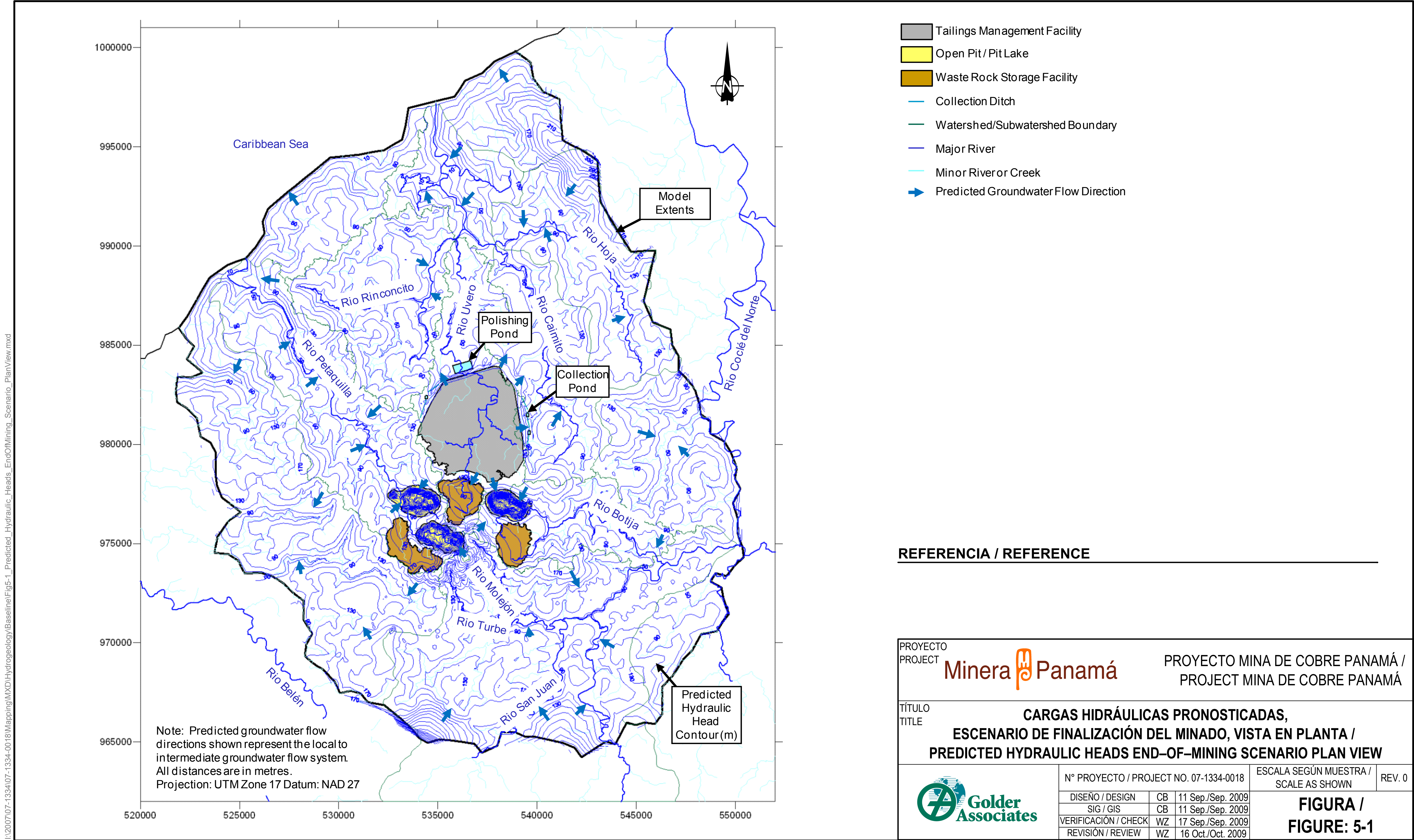
Tabla 5-2 Flujos Base Anuales Promedio Pronosticados para los Escenarios de Finalización del Minado y Post-cierre del Proyecto

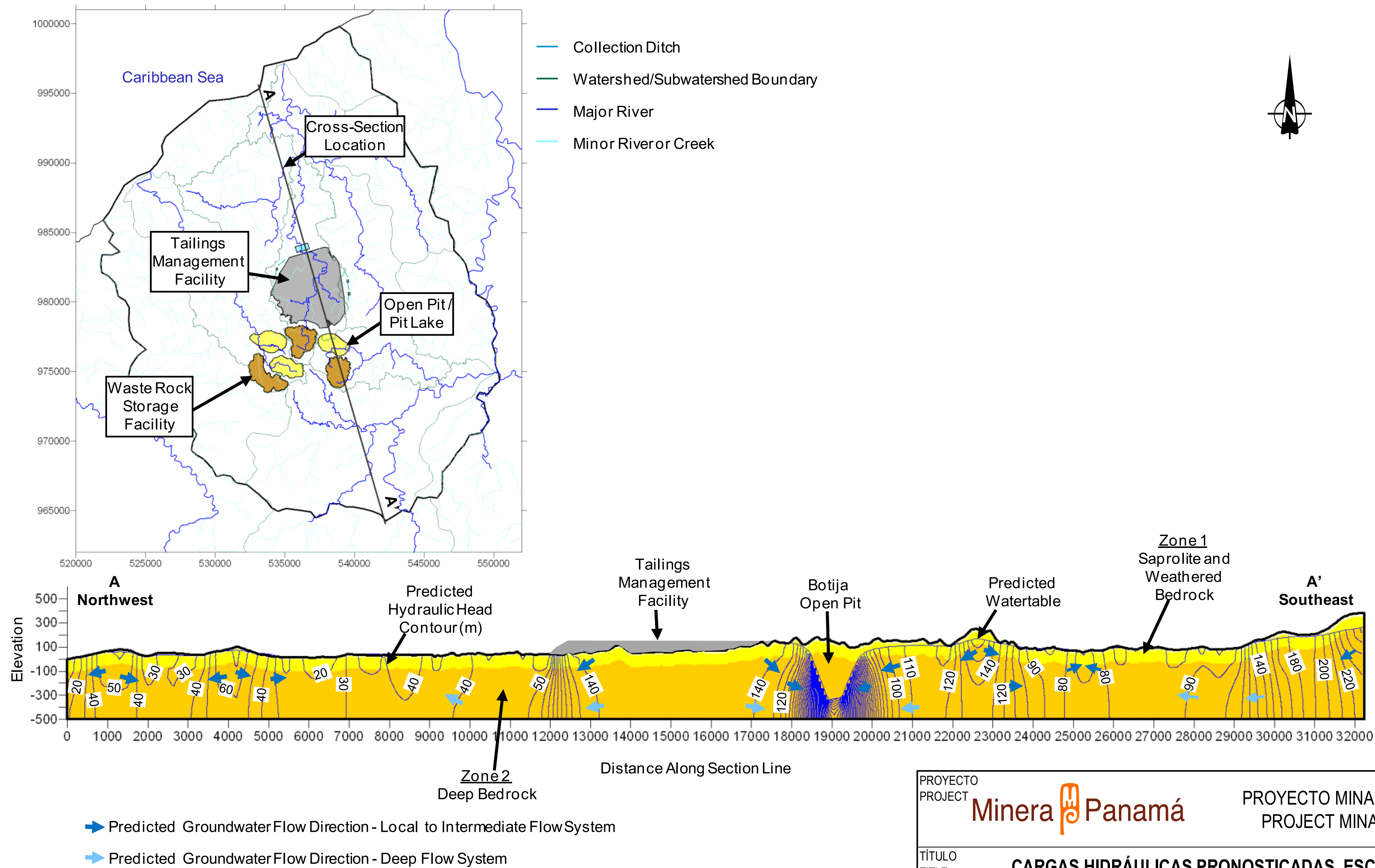
Río	Estación	Condiciones Previas al Desarrollo (calibrado)	Escenario de Finalización del Minado		Escenario de Post-cierre del Proyecto	
		Flujos de Base [m^3/d]	Flujos Base [m^3/d]	Cambio Respecto a las Condiciones Previas al Desarrollo [%]	Flujos Base [m^3/d]	Cambio Respecto a las Condiciones Previas al Desarrollo [%]
Botija	H1	9,500	2,300	-76	3,000	-68
Petaquilla	H2	37,500	1,200	-97	2,600	-93
Uvero	H3	43,800	n/a	n/a	n/a	n/a
Uvero	H4	115,700	30,600	-74	30,700	-73
Botija	H5	46,100	23,500	-49	25,700	-44
Hoja	HW6	148,400	148,400	0	148,400	0
Caimito	HW7	128,900	133,700	4	133,800	4
Rinconcito	HW9	158,000	158,100	0	158,100	0
Petaquilla	HW12	204,800	160,600	-22	164,200	-20
Botija	HW13	88,000	65,400	-26	67,500	-23
San Juan	HW14[(a)]	317,400	316,300	0	316,500	0

(a) Aproximadamente 50% de la captación para la estación HW14 se encuentra dentro del dominio del modelo. Por consiguiente, la tabla anterior muestra aproximadamente la mitad del flujo base registrado para esta estación.

Note: m^3/d = metros cúbicos por día.

En las Figuras 5-1 y 5-2, se presentan los contornos de cargas hidráulicas pronosticadas para el escenario de finalización del minado en vista en planta y vista transversal, respectivamente. Los resultados indican que, durante el minado, los tajos abiertos servirán como sumideros para el flujo de agua subterránea, pronosticándose que habrá frentes de filtración a lo largo de las paredes del tajo y una inducción del flujo del agua subterránea proveniente de la saprolita y del lecho rocoso profundo de los alrededores hacia los tajos abiertos. Se pronosticó también que la IMR serviría como una zona de recarga al agua subterránea, fenómeno que podría producirse debido a la elevación relativamente alta de la superficie de los relaves cuando compara con la topografía circundante, y a la presencia de agua sobre relaves, lo cual podría servir como una fuente de recarga.


Tailings Management Facility
Open Pit / Pit Lake
Waste Rock Storage Facility
Collection Ditch
Watershed/Subwatershed Boundary
Major River
Minor River or Creek
Predicted Groundwater Flow Direction
Caribbean Sea
Model Extents
Polishing Pond
Collection Pond
Predicted Hydraulic Head Contour (m)
Rio Rinconcito
Rio Uvero
Rio Caimito
Rio Hoja
Rio Petaquilla
Rio Coclé del Norte
Rio Botija
Rio Molejón
Rio Turbe
Rio Belén
Rio San Juan
Note: Predicted groundwater flow directions shown represent the local to intermediate groundwater flow system.
All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27
1000000
995000
990000
985000
980000
975000
970000
965000
520000
525000
530000
535000
540000
545000
550000
REFERENCIA / REFERENCE
PROYECTO
PROJECT
Minera Panamá
PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ /
PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ
TÍTULO
TITLE
CARGAS HIDRÁULICAS PRONOSTICADAS,
ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DEL MINADO, VISTA EN PLANTA /
PREDICTED HYDRAULIC HEADS END–OF–MINING SCENARIO PLAN VIEW
Golder Associates
N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018
ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN
REV. 0
DISEÑO / DESIGN CB 11 Sep./Sep. 2009
SIG / GIS CB 11 Sep./Sep. 2009
VERIFICACIÓN / CHECK WZ 17 Sep./Sep. 2009
REVISIÓN / REVIEW WZ 16 Oct./Oct. 2009
FIGURA /
FIGURE: 5-1
I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\HydrogeologyBaseline\Fig5-1_Predicted_Hydraulic_Heads_EndOfMining_Scenario_PlanView.mxd



REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO / PROJECT: Minera Panamá

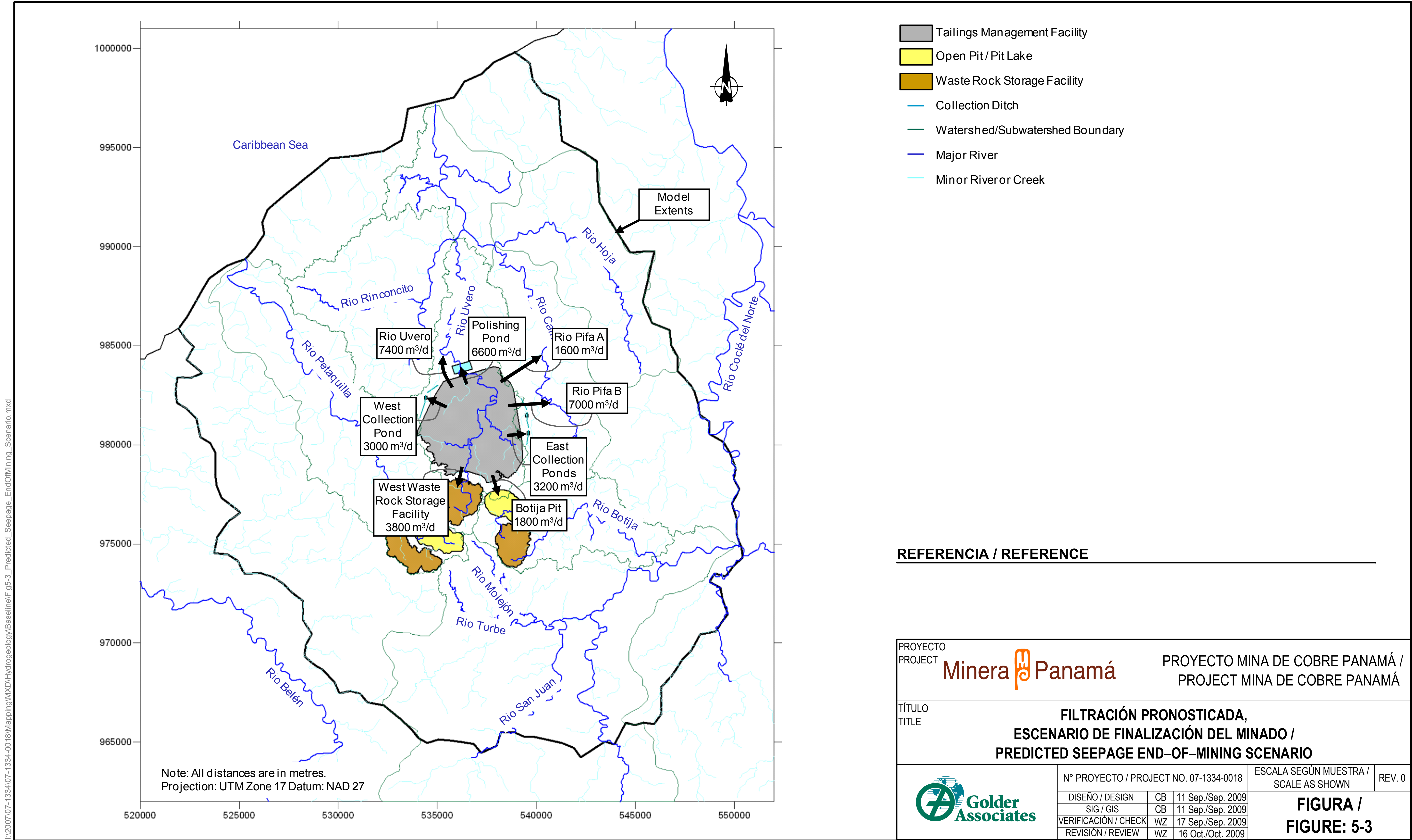
PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO / TITLE: CARGAS HIDRÁULICAS PRONOSTICADAS, ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DEL MINADO, VISTA TRANSVERSAL / PREDICTED HYDRAULIC HEADS END–OF–MINING SCENARIO CROSS SECTIONAL VIEW

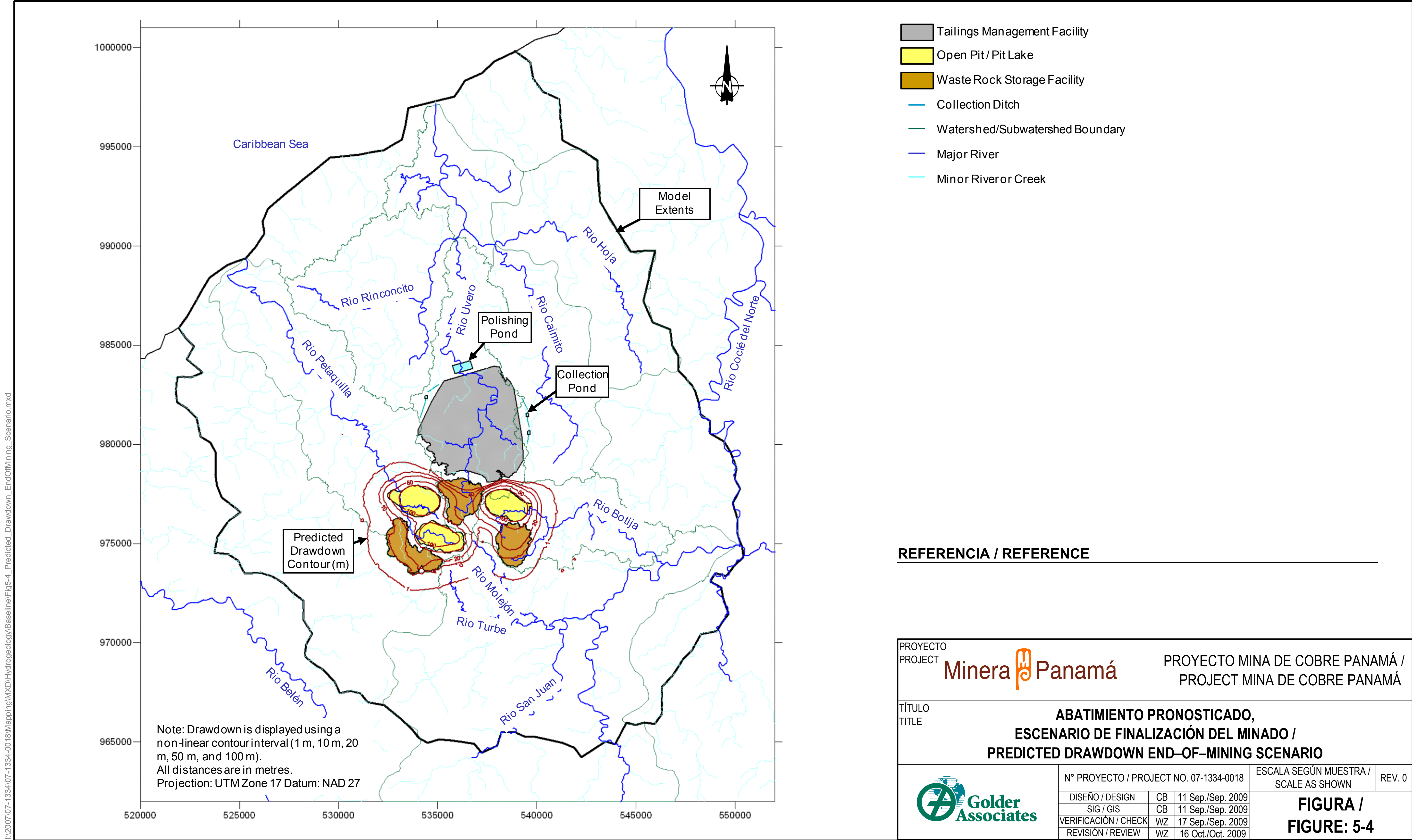
Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO/DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	FIGURA / FIGURE: 5-2	
SIG/GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN/CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN/REVIEW	WZ	11 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Appendix XXVI\Fig5-2_Hydraulic_Head_EndMining_CrossSection_20100804_landscape.mxd



Tailings Management Facility
Open Pit / Pit Lake
Waste Rock Storage Facility
Collection Ditch
Watershed/Subwatershed Boundary
Major River
Minor River or Creek
Caribbean Sea
Model Extents
Rio Hoja
Rio Rinconcito
Rio Uvero
Rio Petaquilla
Rio Coclé del Norte
Rio Uvero 7400 m³/d
Polishing Pond 6600 m³/d
Rio Pifa A 1600 m³/d
Rio Pifa B 7000 m³/d
West Collection Pond 3000 m³/d
East Collection Ponds 3200 m³/d
West Waste Rock Storage Facility 3800 m³/d
Botija Pit 1800 m³/d
Rio Botija
Rio Molejón
Rio Turbe
Rio Belén
Rio San Juan
Note: All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27
1000000
995000
990000
985000
980000
975000
970000
965000
520000
525000
530000
535000
540000
545000
550000
REFERENCIA / REFERENCE
PROYECTO PROJECT
Minera Panamá
PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ
TÍTULO TITLE
FILTRACIÓN PRONOSTICADA, ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DEL MINADO / PREDICTED SEEPAGE END–OF–MINING SCENARIO
Golder Associates
N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018
ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN
REV. 0
DISEÑO / DESIGN CB 11 Sep./Sep. 2009
SIG / GIS CB 11 Sep./Sep. 2009
VERIFICACIÓN / CHECK WZ 17 Sep./Sep. 2009
REVISIÓN / REVIEW WZ 16 Oct./Oct. 2009
FIGURA / FIGURE: 5-3
I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig5-3_Predicted_Seepage_EndOfMining_Scenario.mxd


Tailings Management Facility
Open Pit / Pit Lake
Waste Rock Storage Facility
Collection Ditch
Watershed/Subwatershed Boundary
Major River
Minor River or Creek
Caribbean Sea
Model Extents
Rio Hoja
Rio Rinconcito
Rio Uvero
Polishing Pond
Rio Caimito
Collection Pond
Rio Petaquilla
Rio Coclé del Norte
Rio Botija
Predicted Drawdown Contour (m)
Rio Molejón
Rio Turbe
Rio Belén
Rio San Juan
Note: Drawdown is displayed using a non-linear contour interval (1 m, 10 m, 20 m, 50 m, and 100 m).
All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27
1000000
995000
990000
985000
980000
975000
970000
965000
520000
525000
530000
535000
540000
545000
550000
REFERENCIA / REFERENCE
PROYECTO
PROJECT
Minera Panamá
PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ /
PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ
TÍTULO
TITLE
ABATIMIENTO PRONOSTICADO,
ESCENARIO DE FINALIZACIÓN DEL MINADO /
PREDICTED DRAWDOWN END–OF–MINING SCENARIO
Golder Associates
N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018
ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN
REV. 0
DISEÑO / DESIGN CB 11 Sep./Sep. 2009
SIG / GIS CB 11 Sep./Sep. 2009
VERIFICACIÓN / CHECK WZ 17 Sep./Sep. 2009
REVISIÓN / REVIEW WZ 16 Oct./Oct. 2009
FIGURA / FIGURE: 5-4
I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig5-4_Predicted_Drawdown_EndOfMining_Scenario.mxd

El modelo también pronosticó que las filtraciones de la IMR descargarían en las cunetas y los estanques colectores de filtraciones, los DAREs al oeste, el tajo Botija y los Ríos Uvero y Caimito (Figura 5-3). De Igual forma, aproximadamente el 50% de estas filtraciones serían recolectadas por las cuentas y estanques colectores de filtración o por otros componentes de la mina. Como resultado del modelo y a falta de otras medidas de mitigación, el resto de estas filtraciones descargaría aproximadamente 7,400 y 8,600 m^3/d al Río Uvero y al Río Caimito, respectivamente.

En la Tabla 5-1, se presenta la descarga del agua subterránea a los tajos abiertos finales estimada por el modelo. La modelación pronosticó que, cuando finalice el minado, el agua subterránea combinada que descargará a estos tajos alcanzaría aproximadamente los 29,200 m^3/d y que la mayor parte de esta descarga se dirigiría hacia el tajo Botija (13,000 m^3/d) y el tajo Colina (11,200 m^3/d), con menor afluencia hacia el tajo Valle Grande (5,000 m^3/d). Los resultados parecen razonables, considerando que la profundidad y las dimensiones generales del tajo Valle Grande son menores que la profundidad y las dimensiones de los otros tajos abiertos. Es necesario recalcar que aproximadamente el 14% de la descarga pronosticada al tajo Botija se atribuye a la infiltración inducida de la IMR.

En la Figura 5-4, se presenta los contornos de depresión del nivel freático que representan los cambios pronosticados en las cargas hidráulicas entre las condiciones previas al desarrollo y la finalización del minado. Los contornos muestran que el cono de depresión del nivel freático creado por el minado tal como se definió utilizando el contorno de 1 m, se extendería hasta una distancia de aproximadamente 1 a 2 kilómetros (km) desde los tajos abiertos. El modelo estimó que el tamaño del cono de depresión del nivel freático sería relativamente pequeño debido a las altas tasas de recarga asociadas a las precipitaciones relativamente altas que ocurren en el área, la infiltración adicional proveniente de la IMR y la captación de la descarga de agua subterránea por los cuerpos de agua cercanos.

La Tabla 5-2 resume los flujos base anuales promedio pronosticados por el modelo en 11 estaciones hidrométricas para la finalización del minado, así como los cambios en los flujos base anuales promedio respecto a las condiciones previas al desarrollo. Cuando se comparó las estaciones hidrométricas gradiente abajo en cada una de las cuencas, la reducción del flujo base anual promedio fue mayor en la estación H4 en el Río Uvero, donde se pronosticó que el flujo base disminuiría en aproximadamente 74% respecto del valor previo al desarrollo. Este resultado se atribuyó a la ubicación de la IMR y los DAREs de Botija, al oeste, pues ambas instalaciones se encontrarán dentro de la mayor parte del área de drenaje de este río. Las reducciones pronosticadas del flujo base en las estaciones HW12 (la estación a menor elevación en el Río Petaquilla) y HW13 (la estación a menor elevación en el Río Botija) fueron de aproximadamente 22% y 26%, respectivamente. No se pronosticó ningún cambio en el flujo base anual

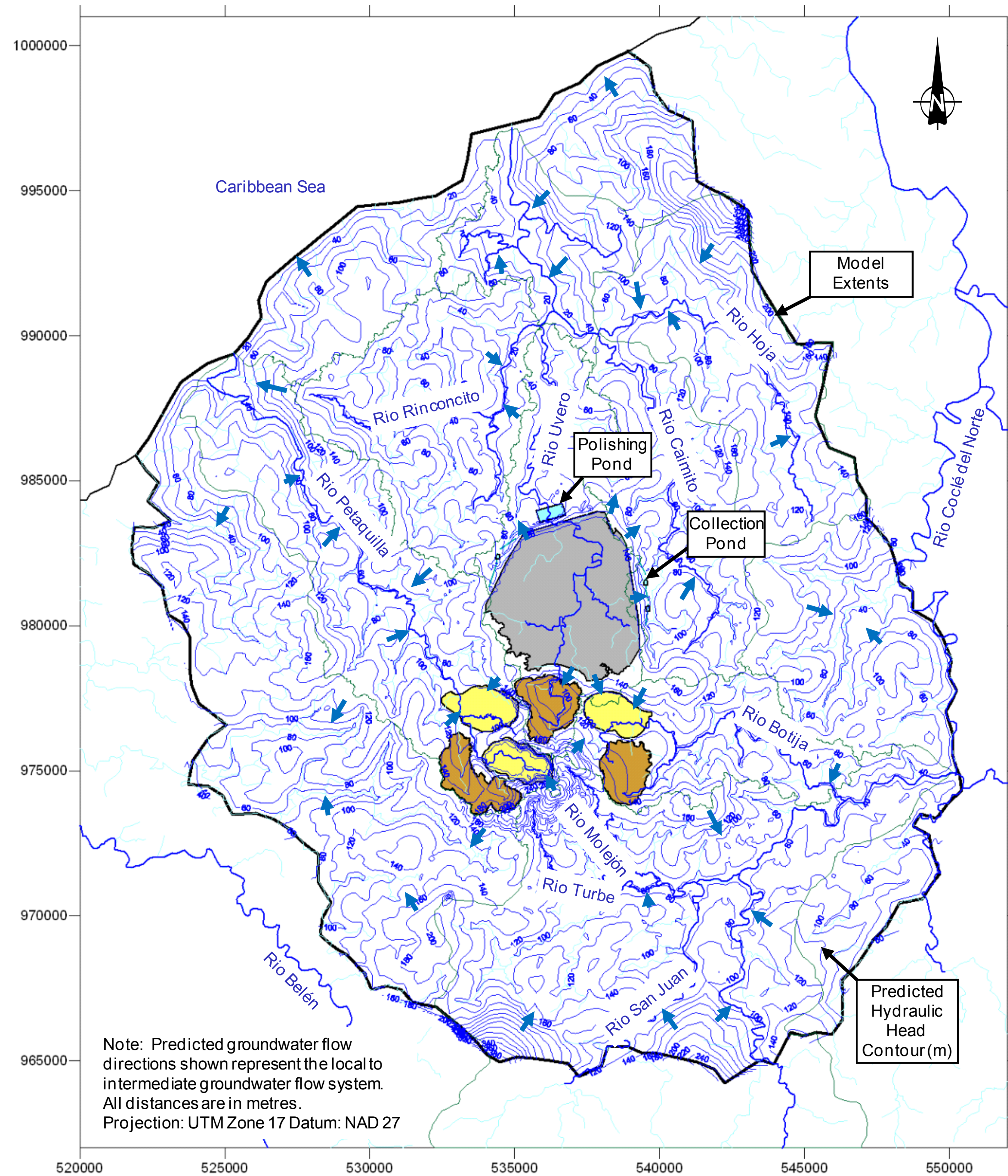
promedio para las estaciones hidrométricas en los Ríos Hoja, Rinconcito y San Juan, pero se pronosticó que el flujo base en el Río Caimito, en la estación HW7, aumentaría en aproximadamente un 4% respecto del flujo base previo al desarrollo, en respuesta a las filtraciones que se originarían en la IMR.

5.2 PRONÓSTICOS PARA EL ESCENARIO DE POST-CIERRE DEL PROYECTO

En las Tablas 5-1 y 5-2, se resume los pronósticos del modelo para el escenario de post-cierre del Proyecto, mientras que en las Figuras 5-5 y 5-6, se presenta los contornos de las cargas hidráulicas en vista en plata y vista transversal, respectivamente.

Según los resultados del modelo, durante la fase de post-cierre, las lagunas que se formarán en los tajos Botija, Colina y Valle Grande seguirán haciendo las veces de sumideros de flujo de agua subterránea, debido a que las elevaciones de agua superficial en las lagunas del tajo que corresponden al punto de elevación más bajo a lo largo de sus crestas son lo suficientemente bajas como para mantenerse por debajo de la elevación de la parte superior del estrato de saprolita/*saprock*/lecho rocoso meteorizado (Zona 1- capa superior, a unos 100 m de profundidad), a lo largo de la mayor parte del perímetro de los tajos. El modelo pronosticó la formación de frentes de filtración por encima de la superficie de la laguna y que la descarga de agua subterránea de la Zona 1 fluiría a la misma. Tal como se presentó en la Tabla 5-1, la afluencia total de agua subterránea a las lagunas del tajo se estimó en aproximadamente 21,600 m^3/d, incluyendo 7,800 m^3/d al tajo Colina, 4,100 m^3/d al tajo Valle Grande y 9,700 m^3/d al tajo Botija. Las descargas pronosticadas en las lagunas del tajo en el escenario de post-cierre corresponden en promedio a aproximadamente 25% menos de las descargas pronosticadas hacia los tajos abiertos en el escenario de finalización del minado, lo que parece ser razonable si se toma en cuenta que la conductividad hidráulica de la Zona 1 es casi dos órdenes de magnitud mayor que la conductividad de la Zona 2 y el hecho de que la mayor parte de la descarga en ambos escenarios se origina en la Zona 1.

Para el escenario de post-cierre, se estimó que la IMR seguiría haciendo las veces de zona de recarga del agua subterránea y que las filtraciones de esta instalación descargarían en las cunetas y estanques colectores de filtración, en los DAREs al oeste, en la laguna del tajo Botija y en los Ríos Uvero y Caimito (Figura 5-7). El modelo pronosticó que el sistema de recolección de filtraciones u otros componentes de la mina recolectarían aproximadamente el 50% de este flujo de agua subterránea proveniente de la IMR. En el escenario de finalización del minado se estimó que el resto de estas filtraciones descargaría en los Ríos del Uvero y Caimito, en un orden aproximado de 8,600 m^3/d y 8,700 m^3/d, respectivamente.



- Tailings Management Facility
- Open Pit / Pit Lake
- Waste Rock Storage Facility
- Collection Ditch
- Watershed/Subwatershed Boundary
- Major River
- Minor River or Creek
- Predicted Groundwater Flow Direction

REFERENCIA / REFERENCE

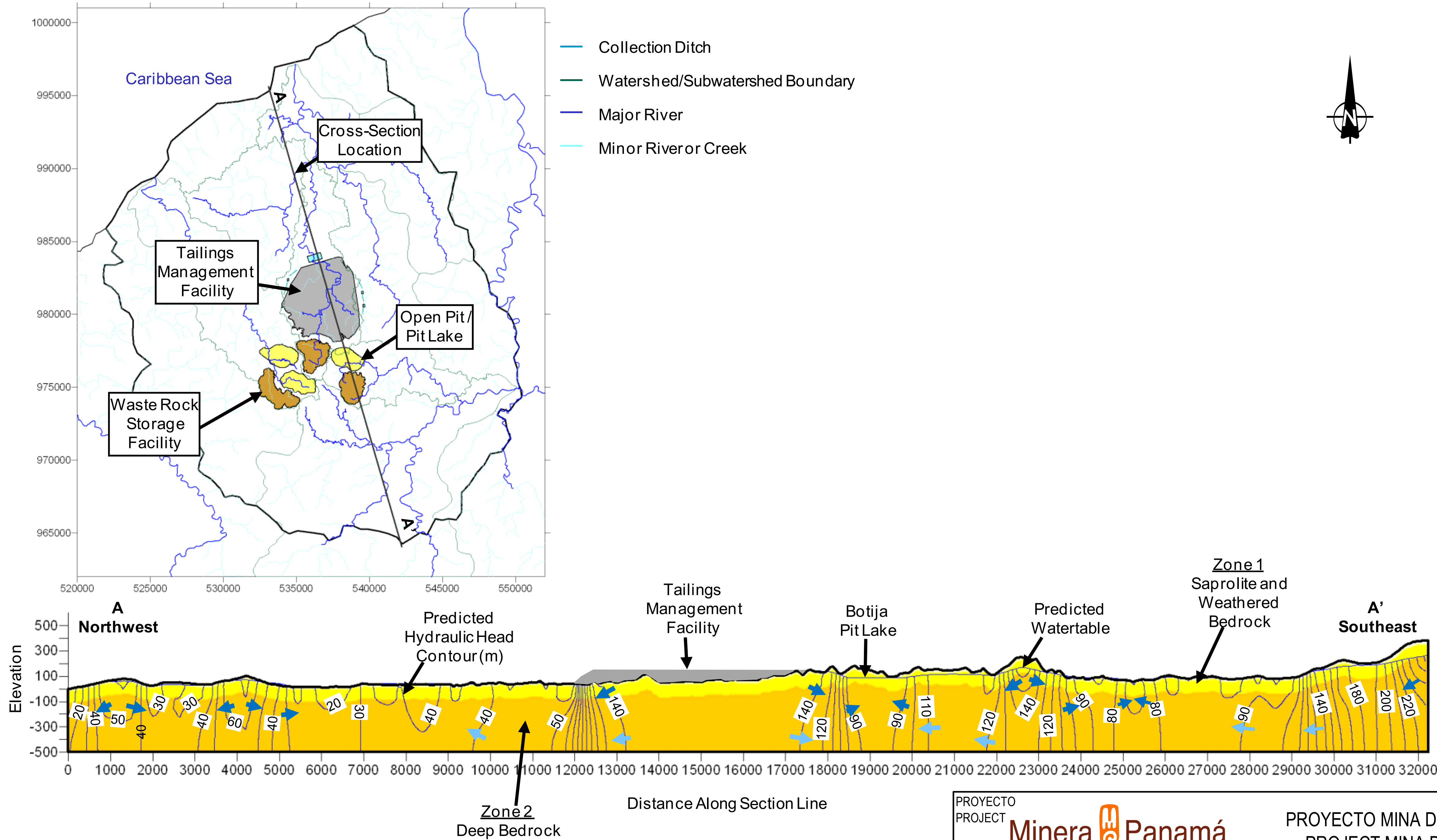
PROYECTO / PROJECT: Minera Panamá — PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO / TITLE: **CARGAS HIDRÁULICAS PRONOSTICADAS, ESCENARIO DE POST–CIERRE / PREDICTED HYDRAULIC HEADS POST–CLOSURE SCENARIO**

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO / DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	**FIGURA / FIGURE: 5-5**	
SIG / GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN / CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN / REVIEW	WZ	19 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig3-1_Monitoring_Wells_20100615.mxd



Predicted Groundwater Flow Direction - Local to Intermediate Flow System

Predicted Groundwater Flow Direction - Deep Flow System

Note: All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Appendix_XXVI\Fig5-6_Hydraulic_Head_PostClosure_CrossSection_20100804_landscape.mxd

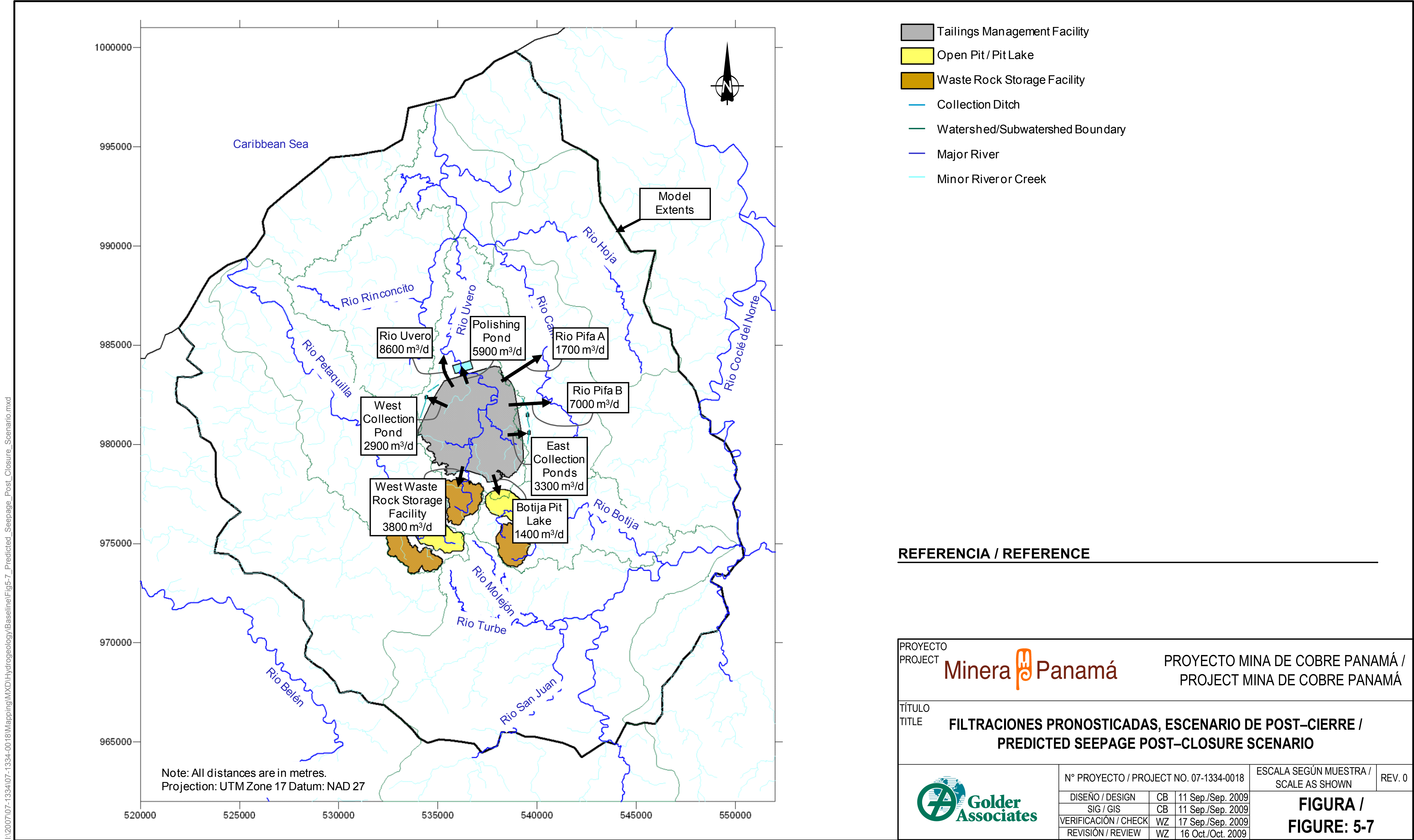
REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO / PROJECT: Minera Panamá — PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ

TÍTULO / TITLE: **CARGAS HIDRÁULICAS PRONOSTICADAS, ESCENARIO DE POST–CIERRE, VISTA TRANSVERSAL / PREDICTED HYDRAULIC HEADS POST–CLOSURE SCENARIO CROSS SECTIONAL VIEW**

Golder Associates

N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018			ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
DISEÑO/DESIGN	CB	11 Sep./Sep. 2009	**FIGURA / FIGURE: 5-6**	
SIG/GIS	CB	11 Sep./Sep. 2009		
VERIFICACIÓN/CHECK	WZ	17 Sep./Sep. 2009		
REVISIÓN/REVIEW	WZ	11 Oct./Oct. 2009		


Tailings Management Facility
Open Pit / Pit Lake
Waste Rock Storage Facility
Collection Ditch
Watershed/Subwatershed Boundary
Major River
Minor River or Creek
Caribbean Sea
Model Extents
Rio Hoja
Rio Rinconcito
Rio Uvero
Rio Petaquilla
Rio Coclé del Norte
Rio Uvero 8600 m³/d
Polishing Pond 5900 m³/d
Rio Pifa A 1700 m³/d
Rio Pifa B 7000 m³/d
West Collection Pond 2900 m³/d
East Collection Ponds 3300 m³/d
West Waste Rock Storage Facility 3800 m³/d
Botija Pit Lake 1400 m³/d
Rio Botija
Rio Molejón
Rio Turbe
Rio Belén
Rio San Juan
1000000
995000
990000
985000
980000
975000
970000
965000
520000
525000
530000
535000
540000
545000
550000
Note: All distances are in metres.
Projection: UTM Zone 17 Datum: NAD 27
REFERENCIA / REFERENCE
PROYECTO
PROJECT
Minera Panamá
PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ /
PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ
TÍTULO
TITLE
FILTRACIONES PRONOSTICADAS, ESCENARIO DE POST–CIERRE /
PREDICTED SEEPAGE POST–CLOSURE SCENARIO
Golder Associates
N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018
ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN
REV. 0
DISEÑO / DESIGN CB 11 Sep./Sep. 2009
SIG / GIS CB 11 Sep./Sep. 2009
VERIFICACIÓN / CHECK WZ 17 Sep./Sep. 2009
REVISIÓN / REVIEW WZ 16 Oct./Oct. 2009
FIGURA /
FIGURE: 5-7
I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig5-7_Predicted_Seepage_Post_Closure_Scenario.mxd

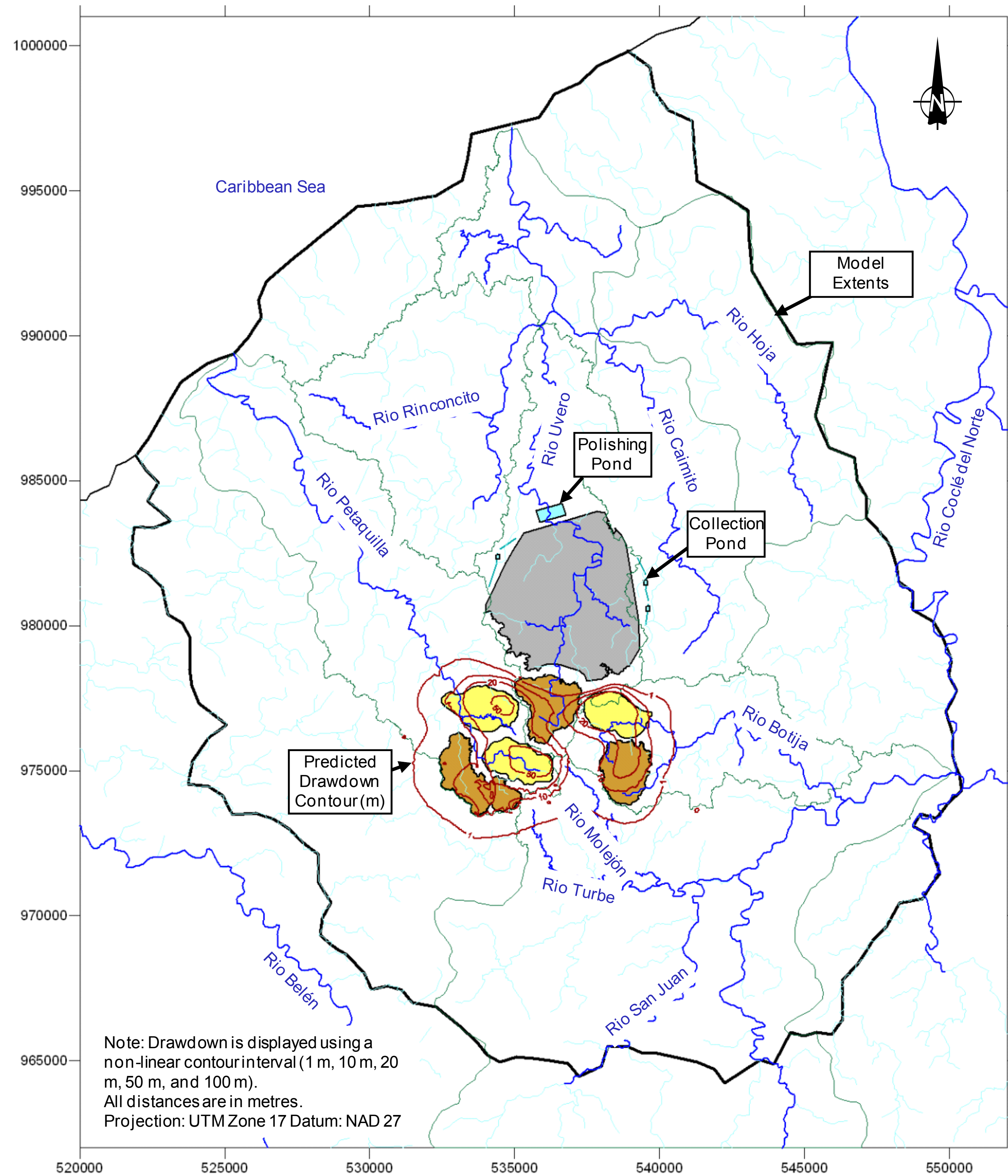
En la Figura 5-8, se presenta los contornos de depresión del nivel freático que representan los cambios en las cargas hidráulicas respecto al escenario previo al desarrollo y al escenario de post-cierre de la mina. El resultado indica que el estimado de la extensión del cono de depresión del nivel freático, tal como lo determina un contorno de depresión del nivel freático de 1 m, sería similar aunque un tanto menor a la extensión pronosticada para el escenario de finalización del minado. Estos supuestos parecen ser razonables, según lo observado anteriormente, debido a las descargas de agua subterránea relativamente altas que se ha pronosticado en las lagunas del tajo.

Para el escenario de post-cierre, se pronosticó que los cambios en los flujos de base anuales promedio respecto a los niveles previos al desarrollo serían similares, aunque en general un tanto menores, a los flujos estimados para el escenario de finalización del minado (Tabla 5-2). También se pronosticó que la reducción del flujo base en la estación H4 del Río Uvero sería de aproximadamente 73% del valor previo al desarrollo minero. Las reducciones estimadas en el flujo base en las estaciones HW12 (la estación ubicada a menor elevación en el Río Petaquilla) y HW13 (la estación ubicada a menor elevación en el Río Botija) correspondieron a -20 y 23%, respectivamente. No se prevé ningún cambio en el flujo base anual promedio en las estaciones hidrométricas de los Ríos Hoja, Rinconcito y San Juan. Para el escenario de finalización del minado, se pronosticó que el flujo base en el Río Caimito en la estación HW7 aumentaría con respecto al flujo base existente previo al desarrollo en aproximadamente 4%, en respuesta a las filtraciones que se originarían en la IMR.

5.3 TIEMPO DE RECORRIDO ADVECTIVO

Además de los pronósticos anteriores, el modelo hidrogeológico se utilizó para calcular los tiempos de recorrido advectivos a lo largo de las trayectorias de filtración desde la IMR en los escenarios de finalización del minado y post-cierre. Los tiempos de recorrido representan el tiempo requerido para que una sustancia química estable, como por ejemplo el cloruro, migre desde las instalaciones hacia un posible receptor. En el caso de especies no conservadoras, los tiempos de recorrido reales pueden ser más largos debido a diversos procesos de atenuación (por ejemplo, absorción, biodegradación y degradación química), los cuales pueden actuar a lo largo de cada trayectoria.

El análisis se basó en el rastreo de partículas, el cual utilizó las condiciones del flujo de agua subterránea pronosticadas para el escenario de finalización del minado y el escenario de post-cierre. En el análisis, se colocó partículas imaginarias a lo largo de la base de los relaves y se les rastreó numéricamente utilizando las velocidades de flujo de agua subterránea estimadas para cada escenario.



Tailings Management Facility
Open Pit / Pit Lake
Waste Rock Storage Facility
Collection Ditch
Watershed/Subwatershed Boundary
Major River
Minor River or Creek

REFERENCIA / REFERENCE

PROYECTO / PROJECT	Minera Panamá	PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ / PROJECT MINA DE COBRE PANAMÁ	
TÍTULO / TITLE	ABATIMIENTO PRONOSTICADO, POST–CIERRE / PREDICTED DRAWDOWN POST–CLOSURE		
Golder Associates	N° PROYECTO / PROJECT NO. 07-1334-0018	ESCALA SEGÚN MUESTRA / SCALE AS SHOWN	REV. 0
	DISEÑO / DESIGN — CB — 11 Sep./Sep. 2009	FIGURA / FIGURE: 5-8	
	SIG / GIS — CB — 11 Sep./Sep. 2009		
	VERIFICACIÓN / CHECK — WZ — 17 Sep./Sep. 2009		
	REVISIÓN / REVIEW — WZ — 16 Oct./Oct. 2009		

I:\2007\07-1334\07-1334-0018\Mapping\MXD\Hydrogeology\Baseline\Fig5-8_Predicted_Drawdown_Post_Closure.mxd

En la Tabla 5-3, se presenta los resultados de los análisis tanto para el escenario de finalización del minado como para el escenario de post-cierre. En el escenario de finalización, los tiempos de recorrido advectivos a lo largo de las trayectorias de filtración entre la IMR y los componentes del sistema colector de filtraciones, incluyendo el estanque de limpieza, estuvieron en un rango de aproximadamente 400 a 700 días. Asimismo, se estimó que los tiempos de recorrido a lo largo de las trayectorias entre esta instalación y los Ríos Uvero, Caimito A y Caimito B serían de aproximadamente 500, 2,700 y 700 días, respectivamente. Finalmente, se estimó que los tiempos de recorrido advectivos en el escenario de post-cierre serían similares, aunque en términos generales un tanto mayores a los pronosticados para el escenario de finalización.

Tabla 5-3 Tiempos de Recorrido Pronosticados a lo Largo de las Trayectorias Desde la Instalación para el Manejo de Relaves

Trayectoria	Tiempo de Recorrido (días)	
	Escenario de Finalización del Minado	Escenario de Post-cierre del Proyecto
poza de limpieza	700	600
cunetas y estanques colectores al este	500	500
cunetas y estanques colectores al oeste	400	400
tajo abierto Botija / laguna del tajo	800	1,000
DARE oeste	500	500
Río Uvero	500	500
Río Caimito A	2,700	2,800
Río Caimito B	700	600
Río Petaquilla	25,300	29,700

6 BIBLIOGRAFÍA

Diersch, H.G. 2008. FEFLOW v. 5.4 Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System (Sistema de Simulación de Transporte y Flujo del Subsuelo por Elementos Finitos). WASY Institute for Water Resources Planning and System Research Ltd., Berlín, Alemania.

Klohn-Crippen Consultants Ltd., 1996. Petaquilla Project: Preliminary Assessment of Baseline Hydrogeological Conditions (Proyecto Petaquilla: Evaluación Preliminar de las Condiciones Hidrogeológicas de Línea Base). Preparado para Teck Corporation. Número de Proyecto PM 7344 01.

Levenick, J., Zawadzki, W., Haynes, A., y Manrique, R., 2009, Hydrogeological Assessment of Seepage through the Antamina Tailings Dam, Antamina Copper/Zinc Mine, Peru, South America, International Mine Water Conference (Evaluación Hidrogeoloógica de Filtración a través de la Presa de Releaves de Anamina, Mina de Cobre/Zinc Antamina, Perú, América del Sur, Conferencia Internacional de Agua Mineras). Octubre de 2009, Pretoria, Sudáfrica.

Stober, I., K. Bucher. 2007. Hydraulic properties of crystalline basement (Propiedades hidráulicas de los lechos rocosos cristalinos). Hydrogeology Journal 15: 213-224.